



**NELSON JOSÉ DE
SOUSA TEIXEIRA**

**ESTUDO DO LIMITE DE ESPRAIAMENTO
DAS ONDAS**



**NELSON JOSÉ DE
SOUSA TEIXEIRA**

**ESTUDO DO LIMITE DE ESPRAIAMENTO
DAS ONDAS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Doutor Carlos Coelho, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

À memória do meu avô José de Sousa e da Professora Graça Amaral

o júri

presidente

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim

Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Paulo Manuel Cruz Alves da Silva

Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Carlos Daniel Borges Coelho

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Com o finalizar de mais uma etapa da minha vida, gostaria de reservar este espaço para expressar todo o meu reconhecimento e sinceros agradecimentos a todos aqueles que me auxiliaram a concretizar este objetivo pessoal, uma vez que não teria sido possível sem o apoio e ajuda de todos os intervenientes.

Assim, é com enorme admiração e respeito que agradeço ao meu orientador Prof. Carlos Coelho, pelo seu empenho e apoio, pela compreensão e ajuda, pela sua disponibilidade, mesmo em horário pós-laboral, por todas as dicas e correções realizadas, por todas as palavras de incentivo e otimismo durante a realização desta dissertação.

A todos os meus colegas e amigos da Universidade de Aveiro, em especial ao Flávio Arrais, Flávio Meneses, Fábio Pires, Sérgio Cunha, Marco Nascimento, André Reis, Pedro Narra, Paulo Pinho, André Furtado, Pedro Roque, Maria João, Filipa Rodrigues, Beatriz Martins e Rita Costa, pelo constante apoio, companheirismo e momentos vividos ao longo de todo o meu percurso académico.

Uma palavra especial à Diana Mendes, pelo incentivo, compreensão e apoio nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos de Lamego, que embora estando longe fazem questão de encurtar distâncias e manterem-se constantemente presentes, sempre com uma palavra de apoio e companheirismo, em particular a Catarina João, Patrícia Almeida, Fábio Fernandes, Janete Santos, Paulo Rodrigues, Gorila, Hugo Pereira, Lília Ramalho, Graciela Santos e Patrícia Jerónimo.

E por último, mas não menos importante, à minha família. Aos meus pais, Nelson Teixeira e Júlia Simões, sem os quais nada disto seria possível. Por todos os valores transmitidos ao longo desta grande caminhada, por todo o amor e carinho sempre demonstrado, pelo apoio incondicional nos momentos mais difíceis, por todo o empenho na minha educação tornando-me melhor pessoa e profissional. Aos meus tios José Lino, Fernanda Simões, José Carlos e Isabel Simões que sempre acreditaram em mim, nas minhas capacidades e qualidades. E aos meus primos, Sérgio, João, Afonso, Vanessa e Andrea pelos bons momentos vividos desde a infância até ao presente.

A todos o meu muito OBRIGADO!

palavras-chave

Espraçamento, linha da máxima preia-mar de águas vivas equinociais, domínio público marítimo, formulações, praias e estruturas artificiais

resumo

A presente dissertação foca-se no estudo do limite de espraçamento das ondas, contribuindo assim para a definição da linha da máxima preia-mar de águas vivas equinociais (LMPMAVE) e do limite do domínio público marítimo (DPM) no litoral do distrito de Aveiro. Posteriormente, estabelecida a posição da LMPMAVE e os limites do DPM, procede-se à representação da LMPMAVE e do DPM sobre uma fotografia aérea do litoral do distrito de Aveiro.

De acordo com a legislação atualmente em vigor, a LMPMAVE é definida, para cada local, em função do espraçamento das vagas em condições médias de agitação do mar e por sua vez, o limite do DPM depende do posicionamento no terreno da LMPMAVE. A existência de inúmeras formulações para a estimativa da altura de espraçamento, adequadas para praias naturais e/ou estruturas artificiais, resulta numa grande variabilidade de valores, indicando a ambiguidade e complexidade da definição do limite do espraçamento das ondas.

Procedeu-se à recolha em bibliografia do maior número possível de formulações que permitem caracterizar a altura de espraçamento, obtendo-se um total de 60 formulações. De forma a compreender a influência da variação dos parâmetros envolvidos no cálculo da altura de espraçamento, realizaram-se análises de sensibilidade, tendo-se verificado que os parâmetros associados à agitação marítima e às características morfológicas da fronteira costeira são os que apresentam maior influência no valor final da altura de espraçamento.

Em função da análise desenvolvida, foi posteriormente realizada a caracterização do litoral Aveirense, nomeadamente da agitação marítima e das características morfológicas, com o intuito de se obterem as formulações de cálculo da altura de espraçamento características do distrito de Aveiro. Recorrendo às formulações obtidas calculou-se a altura de espraçamento e consequentemente a cota da LMPMAVE para vários perfis transversais ao longo da faixa litoral. Por fim, com base nos resultados obtidos, procedeu-se à representação sobre fotografia aérea da LMPMAVE e do limite do DPM, permitindo a identificação das áreas do DPM no litoral do distrito de Aveiro.

keywords

Wave run-up, maximum high tide of equinoctial spring tides, maritime public domain, formulations, beaches and artificial structures

abstract

The main focus of this thesis is to study the wave run-up limit, contributing to the definition of the maximum high tide of equinoctial spring tides (LMPMAVE) and the limit of maritime public domain (DPM) on the coast of district of Aveiro. Subsequently, established the position of LMPMAVE and the limits of DPM, the LMPMAVE and DPM were represented over an aerial photograph of the coast of the Aveiro district.

According to current legislation, the LMPMAVE is defined, for each place, depending on the wave run-up under average wave climate conditions and, in turn, the limit of DPM depends on the location on the ground of LMPMAVE. The existence of numerous formulations for estimating the wave run-up, suitable for natural beaches and/or artificial structures, results in a large variability of values, indicating the ambiguity and complexity of defining the limit of wave run-up.

The largest possible number of formulations that allow characterizing the wave run-up were collected from the bibliography, yielding a total of 60 formulations. In order to understand the influence of the variation of the parameters involved in the calculation of the wave run-up, were performed sensitivity analysis. It has emerged that the parameters associated sea wave climate and the morphological characteristics of the coastal boundary have greater influence on final wave run-up value.

Following the analysis developed, it was subsequently performed the characterization of the Aveiro coast, particularly of waves and morphological characteristics, in order to obtain the adequate formulations for the district of Aveiro, for an estimative of the wave run-up. Applying the obtained formulations, it was calculated the wave run-up and therefore the quota of LMPMAVE for various cross-sections along the coastal stretch in analysis. Finally, based on these results, the representation on aerial photograph of LMPMAVE and DPM limit was performed, allowing the identification of areas of DPM in the district of Aveiro coast.

ÍNDICES

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	XVII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIX
ÍNDICE DE TABELAS	XXII
SIMBOLOGIA.....	XXV
 1 INTRODUÇÃO.....	 3
1.1 Enquadramento.....	4
1.2 Objetivos	5
1.3 Metodologia.....	6
1.4 Estrutura	6
 2 ESPRAIAMENTO E O DPM	 11
2.1 Enquadramento com o Domínio Público Marítimo.....	11
2.2 Noção de Espraimento	13
2.3 Hidrodinâmica Marítima.....	14
2.3.1 Marés	14
2.3.2 Agitação marítima	15
2.3.3 Grau de exposição	18
2.4 Morfologia da Praia	19
2.4.1 Declive.....	20
2.4.2 Granulometria	21
 3 ESTIMATIVA DO ESPRAIAMENTO.....	 25
3.1 Formulações de Cálculo.....	25
3.2 Classes das Formulações.....	31
 4 ANÁLISES DE SENSIBILIDADE.....	 39
4.1 Estrutura das Formulações	40
4.2 Fronteira Costeira	43
4.3 Tipo de Ondulação.....	48
4.4 Proveniência do Estudo.....	50
4.5 Nível de Espraimento.....	52

4.6	Batimetria	56
4.7	Granulometria.....	57
4.8	Coeficientes de redução	58
4.8.1	Coeficiente de redução de rugosidade da superfície do talude	59
4.8.2	Coeficiente de redução da berma de pré-rebentação.....	59
4.8.3	Coeficiente de redução da obliquidade da onda.....	60
4.8.4	Coeficiente de redução de profundidade	61
4.8.5	Ação simultânea dos coeficientes de redução.....	62
4.9	Declive condicionado.....	64
5	CARACTERIZAÇÃO DO LITORAL DE AVEIRO.....	69
5.1	Agitação Marítima	69
5.1.1	Altura de onda significativa e período de onda máximo.....	73
5.1.2	Rumo da ondulação	75
5.2	Declive	77
5.2.1	Batimetria	79
5.3	Granulometria.....	79
5.4	Características das Estruturas Costeiras.....	82
5.5	Formulações Características.....	83
6	REPRESENTAÇÃO EM MAPA.....	89
6.1	Metodologia.....	90
6.2	Área do DPM.....	94
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
7.1	Conclusões	99
7.2	Desenvolvimentos Futuros.....	102
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
	ANEXO I.....	119
	ANEXO II	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Faixa marítima de proteção costeira	3
Figura 2 – Localização da área de estudo, correspondendo aos concelhos costeiros do distrito de Aveiro (adaptado de Coelho <i>et al.</i> , 2007)	5
Figura 3 – Definição de espraçamento	13
Figura 4 – Níveis da maré e planos de referência (adaptado de IH, 2012b).....	15
Figura 5 – Categoria das formulações, de acordo com vários critérios de classificação	35
Figura 6 – Aspeto gráfico das formulações do tipo da equação (13).....	41
Figura 7 – Aspeto gráfico das formulações do tipo da equação (14).....	41
Figura 8 – Aspeto gráfico das formulações do tipo da equação (15).....	42
Figura 9 – Aspeto gráfico das formulações do tipo da equação (16).....	43
Figura 10 – Altura de espraçamento para praias naturais ($T = 8$ s).....	44
Figura 11 – Altura de espraçamento para praias naturais ($T = 12$ s).....	45
Figura 12 – Altura de espraçamento para estruturas costeiras ($T = 8$ s).....	46
Figura 13 – Altura de espraçamento para estruturas costeiras ($T = 12$ s).....	47
Figura 14 – Altura de espraçamento utilizando a formulação nº 3.....	56
Figura 15 – Altura de espraçamento utilizando a formulação nº 12.....	58
Figura 16 – Definição de berma (adaptado de De Waal e Van der Meer, 1992).....	60
Figura 17 – Definição do ângulo α , de incidência das ondas sobre as estruturas costeiras.....	61
Figura 18 – Influência da morfologia do fundo do mar	61
Figura 19 – Altura de espraçamento considerando a influência dos coeficientes de redução ..	63
Figura 20 – Altura de espraçamento utilizando a formulação nº 1.....	64
Figura 21 – Altura de espraçamento utilizando a formulação nº 9.....	65
Figura 22 – Rosa de rumos com a representação das classes de direção de ondulação (dados do IH para a boia de Leixões, recolhidos entre 1993 e 2003, adaptado de Coelho, 2005).	76
Figura 23 – Parte do trecho do litoral de Aveiro, com a identificação da posição de vários perfis transversais, espaçados de 250 m	78
Figura 24 – Identificação da localização dos pontos de recolha de areia, ao longo do perfil transversal (Fonseca, 2011)	81
Figura 25 – Nível de espraio obtido para praias naturais do distrito de Aveiro, de acordo com as diferentes formulações.....	85

Figura 26 – Nível de espraio para estruturas costeiras do distrito de Aveiro, de acordo com as diferentes formulações.....	85
Figura 27 – Exemplo de mapeamento da LMPMAVE (Teixeira, 2009)	89
Figura 28 – Exemplo da junção de duas imagens do litoral do distrito de Aveiro	90
Figura 29 – Inconformidades registadas na primeira aproximação da curva de nível para a cota +2.0 m (NMM)	92
Figura 30 – Exemplo da representação sobre fotografia aérea da LMPMAVE e dos limites do DPM, para ambos os métodos.....	94
Figura A.I 1 – Altura de espraimento para formulações do tipo PN-R-L-R.....	119
Figura A.I 2 – Altura de espraimento para formulações do tipo PN-R-L-R _{2%}	119
Figura A.I 3 – Altura de espraimento para formulações do tipo PN-I-C-R _{máx}	120
Figura A.I 4 – Altura de espraimento para formulações do tipo PN-I-C-R _m	120
Figura A.I 5 – Altura de espraimento para formulações do tipo PN-I-C-R _{50%}	121
Figura A.I 6 – Altura de espraimento para formulações do tipo PN-I-C-R _s	121
Figura A.I 7 – Altura de espraimento para formulações do tipo PN-I-C-R _{5%}	122
Figura A.I 8 – Altura de espraimento para formulações do tipo PN-I-C-R _{2%}	122
Figura A.I 9 – Altura de espraimento para formulações do tipo PN-I-C-R _{1%}	123
Figura A.I 10 – Altura de espraimento para formulações do tipo PN-I-L-R _{máx}	123
Figura A.I 11 – Altura de espraimento para formulações do tipo PN-I-L-R _m	124
Figura A.I 12 – Altura de espraimento para formulações do tipo PN-I-L-R _s	124
Figura A.I 13 – Altura de espraimento para formulações do tipo PN-I-L-R _{2%}	125
Figura A.I 14 – Altura de espraimento para formulações do tipo PN-I-C/L-R _{2%}	125
Figura A.I 15 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-R-C-R.....	126
Figura A.I 16 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-R-L-R.....	126
Figura A.I 17 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-I-C-R.....	127
Figura A.I 18 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-I-L-R _{máx}	127
Figura A.I 19 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-I-L-R _m	128
Figura A.I 20 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-I-L-R _s	128
Figura A.I 21 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-I-L-R _{10%}	129
Figura A.I 22 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-I-L-R _{5%}	129
Figura A.I 23 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-I-L-R _{2%}	130
Figura A.I 24 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-I-L-R _{1%}	131
Figura A.I 25 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-I-L-R _{0.13%}	131
Figura A.I 26 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-I-N/D-R _{2%}	132

Figura A.I 27 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-N/D-L-R ₂ %	132
Figura A.I 28 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-N/D-N/D-R ₂ %	133
Figura A.II 1 – Representação da LMPMAVE (1) e DPM (1), concelhos de Espinho e Ovar	137
Figura A.II 2 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelho de Ovar.....	138
Figura A.II 3 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelhos de Ovar e Murtosa	139
Figura A.II 4 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelho de Murtosa (1)	140
Figura A.II 5 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelho de Murtosa (2)	141
Figura A.II 6 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelhos de Murtosa e Aveiro	142
Figura A.II 7 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelho de Aveiro.....	143
Figura A.II 8 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelhos de Aveiro e Ílhavo	144
Figura A.II 9 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelhos de Ílhavo e Vagos	145
Figura A.II 10 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelho de Vagos.....	146
Figura A.II 11 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelhos de Espinho e Ovar	147
Figura A.II 12 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelho de Ovar.....	148
Figura A.II 13 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelhos de Ovar e Murtosa	149
Figura A.II 14 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelho de Murtosa (1)	150
Figura A.II 15 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelho de Murtosa (2)	151
Figura A.II 16 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelhos de Murtosa e Aveiro	152
Figura A.II 17 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelho de Aveiro.....	153
Figura A.II 18 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelhos de Aveiro e Ílhavo	154
Figura A.II 19 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelhos de Ílhavo e Vagos	155
Figura A.II 20 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelho de Vagos.....	156

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Formulações para o cálculo da altura de espraçamento (1)	27
Tabela 2 – Formulações para o cálculo da altura de espraçamento (2)	28
Tabela 3 – Formulações para o cálculo da altura de espraçamento (3)	29
Tabela 4 – Características das formulações (1).....	32
Tabela 5 – Características das formulações (2).....	33
Tabela 6 – Grupos de formulações.....	34
Tabela 7 – Período de onda e respectivos valores do comprimento de onda.....	39
Tabela 8 – Altura de espraçamento (m) para diferente tipo de ondulação, para praias naturais	49
Tabela 9 – Altura de espraçamento (m) para diferente tipo de ondulação, para estruturas costeiras	49
Tabela 10 – Altura de espraçamento (m) para diferente proveniência do estudo e para praias naturais.....	51
Tabela 11 – Altura de espraçamento (m) para diferente proveniência do estudo e para estruturas costeiras	52
Tabela 12 – Altura de espraçamento (m) para diferentes níveis de espraio, para praias naturais	53
Tabela 13 – Altura de espraçamento (m) para diferentes níveis de espraio, para estruturas costeiras	55
Tabela 14 – Altura de espraçamento (m) para o nível de espraio máximo (formulação nº 52).....	55
Tabela 15 – Relação entre os diferentes níveis de espraio (Grune e Wang, 2000).....	56
Tabela 16 – Valores do coeficiente de redução de rugosidade da superfície do talude (adaptado de De Waal e Van der Meer, 1992).....	59
Tabela 17 – Valores considerados para os coeficientes de redução.....	62
Tabela 18 – Número total de registos efetuados nos diferentes meses do período em análise.....	72
Tabela 19 – Número de registos em condições de temporal, efetuados nos diferentes meses do período em análise.....	73
Tabela 20 – Valores médios anuais dos parâmetros escalares da agitação marítima	74
Tabela 21 – Comparação dos valores médios anuais dos parâmetros escalares da agitação marítima	75
Tabela 22 – Número de registos do rumo da ondulação, por ano e classe de proveniência.....	75
Tabela 23 – Parâmetros da agitação marítima para os sectores mais representativos	77

Tabela 24 – Frequência de ocorrência do tipo de solo, nos diferentes pontos do perfil transversal (adaptado de Fonseca, 2011).....	81
Tabela 25 – Relação entre os diferentes níveis de espraio para praias naturais.....	84
Tabela 26 – Relação entre os diferentes níveis de espraio para estruturas costeiras	84
Tabela 27 – Áreas do DPM por concelho utilizando ambos os métodos.....	95
Tabela 28 – Influência dos diferentes concelhos no DPM	96
Tabela A.I 1 – Formulações do tipo PN-R-L-R.....	119
Tabela A.I 2 – Formulações do tipo PN-R-L-R _{2%}	119
Tabela A.I 3 – Formulações do tipo PN-I-C-R _{máx}	120
Tabela A.I 4 – Formulações do tipo PN-I-C-R _m	120
Tabela A.I 5 – Formulações do tipo PN-I-C-R _{50%}	121
Tabela A.I 6 – Formulações do tipo PN-I-C-R _s	121
Tabela A.I 7 – Formulações do tipo PN-I-C-R _{5%}	122
Tabela A.I 8 – Formulações do tipo PN-I-C-R _{2%}	122
Tabela A.I 9 – Formulações do tipo PN-I-C-R _{1%}	123
Tabela A.I 10 – Formulações do tipo PN-I-L-R _{máx}	123
Tabela A.I 11 – Formulações do tipo PN-I-L-R _m	124
Tabela A.I 12 – Formulações do tipo PN-I-L-R _s	124
Tabela A.I 13 – Formulações do tipo PN-I-L-R _{2%}	125
Tabela A.I 14 – Formulações do tipo PN-I-C/L-R _{2%}	125
Tabela A.I 15 – Formulações do tipo EC-R-C-R.....	126
Tabela A.I 16 – Formulações do tipo EC-R-L-R.....	126
Tabela A.I 17 – Formulações do tipo EC-I-C-R.....	127
Tabela A.I 18 – Formulações do tipo EC-I-L-R _{máx}	127
Tabela A.I 19 – Formulações do tipo EC-I-L-R _m	128
Tabela A.I 20 – Formulações do tipo EC-I-L-R _s	128
Tabela A.I 21 – Formulações do tipo EC-I-L-R _{10%}	129
Tabela A.I 22 – Formulações do tipo EC-I-L-R _{5%}	129
Tabela A.I 23 – Formulações do tipo EC-I-L-R _{2%}	130
Tabela A.I 24 – Formulações do tipo EC-I-L-R _{1%}	131
Tabela A.I 25 – Formulações do tipo EC-I-L-R _{0.13%}	131
Tabela A.I 26 – Formulações do tipo EC-I-N/D-R _{2%}	132
Tabela A.I 27 – Formulações do tipo EC-N/D-L-R _{2%}	132
Tabela A.I 28 – Formulações do tipo EC-N/D-N/D-R _{2%}	133

SIMBOLOGIA

Abreviaturas e acrónimos

BM	Baixa-Mar
BMAM	Baixa-Mar de Águas Mortas
BMAV	Baixa-Mar de Águas Vivas
BMM	Baixa-Mar Mínima
DPM	Domínio Público Marítimo
LMPMAVE	Linha da Máxima Preia-Mar de Águas Vivas Equinociais
IH	Instituto Hidrográfico
INAG	Instituto da Água, I.P.
MPMAVE	Máxima Preia-Mar de Águas Vivas Equinociais
N	Norte
NMM	Nível Médio da Água do Mar
NNW	Norte-Noroeste
NW	Noroeste
PM	Preia-Mar
PMAM	Preia-Mar de Águas Mortas
PMAV	Preia-Mar de Águas Vivas
PMM	Preia-Mar Máxima
S	Sul
SW	Sudoeste

SSW	Sul-Sudoeste
W	Oeste
WNW	Oeste-Noroeste
WSW	Oeste-Sudoeste
ZH	Zero Hidrográfico

Letras maiúsculas do alfabeto latino

B	Largura da berma	[m]
C_1	Cota junto da zona limite entre a água do mar e o terreno	[m]
C_2	Cota no limite da extensão da praia ou na base da duna	[m]
D	Diâmetro do enrocamento	[m]
H	Altura de onda	[m]
H_{rms}	Raiz quadrada da média das alturas de onda	[m]
H_s	Altura significativa da onda	[m]
$H_{2\%}$	Altura de onda excedida em 2%	[m]
L	Comprimento de onda	[m]
L_c	Distância horizontal entre as cotas C_1 e C_2	[m]
L_p	Comprimento de onda associado ao período de onda de pico	[m]
M_F	Fluxo de impulso de onda	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \right]$
N_0	Número adimensional de Dean	[—]
R	Altura de espraçamento	[m]

R^2	Coeficiente de determinação	[%]
R_m	Altura de espraçamento médio	[m]
$R_{m\acute{a}x}$	Altura de espraçamento máximo	[m]
R_s	Altura de espraçamento significativo (média do terço mais alto dos níveis de espraço)	[m]
$R_{0.13\%}$	Altura de espraçamento excedida pelo 0.13% mais alto dos níveis de espraço	[m]
$R_{1\%}$	Altura de espraçamento excedida pelo 1% mais alto dos níveis de espraço	[m]
$R_{2\%}$	Altura de espraçamento excedida pelo 2% mais alto dos níveis de espraço	[m]
$R_{5\%}$	Altura de espraçamento excedida pelo 5% mais alto dos níveis de espraço	[m]
$R_{10\%}$	Altura de espraçamento excedida pelo 10% mais alto dos níveis de espraço	[m]
$R_{50\%}$	Altura de espraçamento excedida pelo 50% mais alto dos níveis de espraço	[m]
T	Período de onda	[s]
T_e	Período de onda espectral	[s]
T_m	Período de onda médio	[s]
$T_{m\acute{a}x}$	Período de onda máximo	[s]
T_p	Período de onda de pico	[s]
T_s	Período de onda significativo	[s]

Letras minúsculas do alfabeto latino

a	Altura dos elementos artificiais	[m]
b	Largura ao longo do talude dos elementos artificiais (perpendicular ao eixo da estrutura)	[m]

c	Coeficiente	[—]
d	Profundidade da água	[m]
d_{sr}	Tamanho médio dos sedimentos na zona de espraio	[mm]
d_{sw}	Tamanho médio dos sedimentos na zona de rebentação	[mm]
g	Aceleração da gravidade	[m/s ²]
h	Profundidade na base do talude	[m]
h_b	Profundidade a meio do comprimento da berma	[m]
l	Comprimento dos elementos artificiais (paralelo ao eixo da estrutura)	[m]
r	Coeficiente de correlação	[—]
r_b	Redução da inclinação média	[—]
r_{h_B}	Redução da influência da berma causada pela profundidade a meio do comprimento da berma	[—]
s	Declividade da onda	[—]
w_{sr}	Velocidade de queda do sedimento na zona de rebentação	[m/s]

Letras maiúsculas do alfabeto grego

ΔX	Distância da linha de costa, considerando o NMM, até à linha batimétrica -15 m	[m]
------------	--	-----

Letras minúsculas do alfabeto grego

α	Ângulo de incidência das ondas sobre as estruturas costeiras	[°]
β	Inclinação do talude (praia natural ou estrutura costeira)	[°]
γ_b	Coeficiente de redução da berma de pré-rebentação	[—]

γ_h	Coeficiente de redução de profundidade	[—]
γ_r	Coeficiente de redução de rugosidade da superfície do talude	[—]
γ_α	Coeficiente de redução da obliquidade da onda	[—]
ξ	Nº de Iribarren	[—]
ξ_e	Nº de Iribarren associado ao período de onda espectral	[—]
ξ_m	Nº de Iribarren associado ao período de onda médio	[—]
ξ_p	Nº de Iribarren associado ao período de onda de pico	[—]
$\xi_{p,eq}$	Nº de Iribarren equivalente associado ao período de onda de pico	[—]
ξ_s	Nº de Iribarren associado ao período de onda significativo	[—]
π	Valor numérico de Pi	[—]
λ	Comprimento de onda de ressonância	[m]
ρ	Densidade do fluido	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A faixa marítima de proteção costeira estende-se ao longo da costa marítima no sentido do oceano e é delimitada superiormente pela linha limite do leito das águas do mar e inferiormente pela batimétrica dos 30 metros, referida ao Zero Hidrográfico (ZH) (Figura 1). Embora haja discussão sobre o enquadramento espacial, por limite do leito das águas do mar deve entender-se a linha da máxima preia-mar de águas vivas equinociais (LMPMAVE), tal como define o artigo 10.º da Lei n.º 54/2005, de 15 de novembro ou também conhecida como a Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos (DR, 2005). Para cada local, esta linha é definida em função do espraçamento máximo das vagas do mar. De acordo com a Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC, 2010), na maioria dos casos esta linha coincide com a base da arriba, a base da duna frontal e a base da obra de proteção costeira (muros marítimos), bem como as praias extensas de declive suave (até à extinção da natureza de praia) e os limites inundáveis das barreiras arenosas que separam as lagoas do oceano.

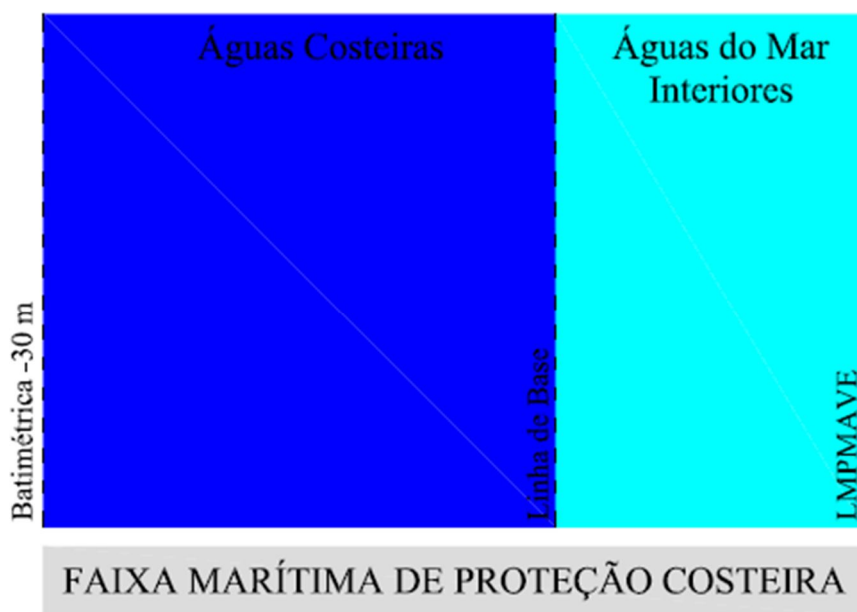


Figura 1 – Faixa marítima de proteção costeira

Existem diversas formulações que permitem estimar o espraçamento das ondas sobre praias naturais e/ou estruturas artificiais, resultando numa grande variabilidade de valores. Devido à incerteza e à complexidade de quantificar os fenómenos envolvidos no espraçamento, o presente estudo pretende avaliar as diversas formulações numéricas existentes, confrontar parâmetros intervenientes e pressupostos admitidos, contribuindo assim para uma melhor escolha de formulações numéricas adequadas à representação da realidade do litoral do distrito Aveirense, de forma a proceder-se a uma efetiva delimitação da LMPMAVE no terreno.

1.1 Enquadramento

Esta dissertação relaciona-se com a definição da LMPMAVE e o limite de espraçamento das ondas, tendo como referência base o documento de Teixeira (2009) intitulado “Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve”. O mesmo documento consiste em definir a LMPMAVE no litoral sul do Algarve, de forma a fornecer os elementos necessários para a delimitação física do leito e da margem das águas do mar enunciada na Lei n.º 54/2005, de 15 de novembro (DR, 2005). Após 14 anos de recolha de dados experimentais, Teixeira (2009) desenvolveu equações empíricas para o cálculo da altura de espraçamento das vagas em condições de agitação média do mar, de acordo com as diversas condições morfológicas encontradas ao longo de todo o litoral sul do Algarve. Da aplicação das diversas equações formuladas, resultou o posicionamento da LMPMAVE no terreno, traduzindo-se depois na elaboração de mapas.

Baseando-se no estudo realizado por Teixeira (2009), o Instituto da Água (INAG), emitiu o Despacho n.º 12/2010 (INAG, 2010), que visa estabelecer a demarcação do leito e da margem das águas do mar para todo o território nacional. No entanto, uma vez que o documento se baseia num estudo realizado no litoral sul do país, a aplicabilidade do mesmo para todo o território nacional é questionável, pois a costa ocidental do país apresenta uma morfologia de praia e uma hidrodinâmica marítima significativamente diferente.

Ao contrário do estudo realizado por Teixeira (2009), ao longo da extensa e diversificada linha costeira no sul do Algarve, onde predominam as arribas mas também se podem encontrar extensas praias arenosas, o estudo realizado nesta dissertação será desenvolvido para todo o litoral do distrito de Aveiro, com características morfológicas e de hidrodinâmica marítima bastante distintas do litoral Algarvio. Segundo Coelho *et al.* (2007), a maioria da zona costeira Aveirense é plana e de baixa altitude, constituída essencialmente por praias expostas e dunas. No que se refere à hidrodinâmica marítima, Costa *et al.* (2001) indicam valores distintos para os parâmetros escalares da agitação marítima ao largo para o litoral sul e para o litoral oeste de Portugal Continental. Os mesmos autores referem ainda que a costa sul, dado não estar diretamente exposta às componentes da agitação predominantes na costa oeste, nomeadamente à ondulação de noroeste (NW) gerada no Atlântico, e à vaga associada aos ventos locais dos quadrantes de norte, apresenta condições médias muito menos severas.

O distrito de Aveiro localiza-se na beira litoral de Portugal Continental, e faz fronteira a norte com o distrito do Porto, a este com o distrito de Viseu, a sul com o distrito de Coimbra e

a oeste com o oceano Atlântico, apresentando uma faixa costeira com um comprimento aproximado de 60 km (Figura 2).

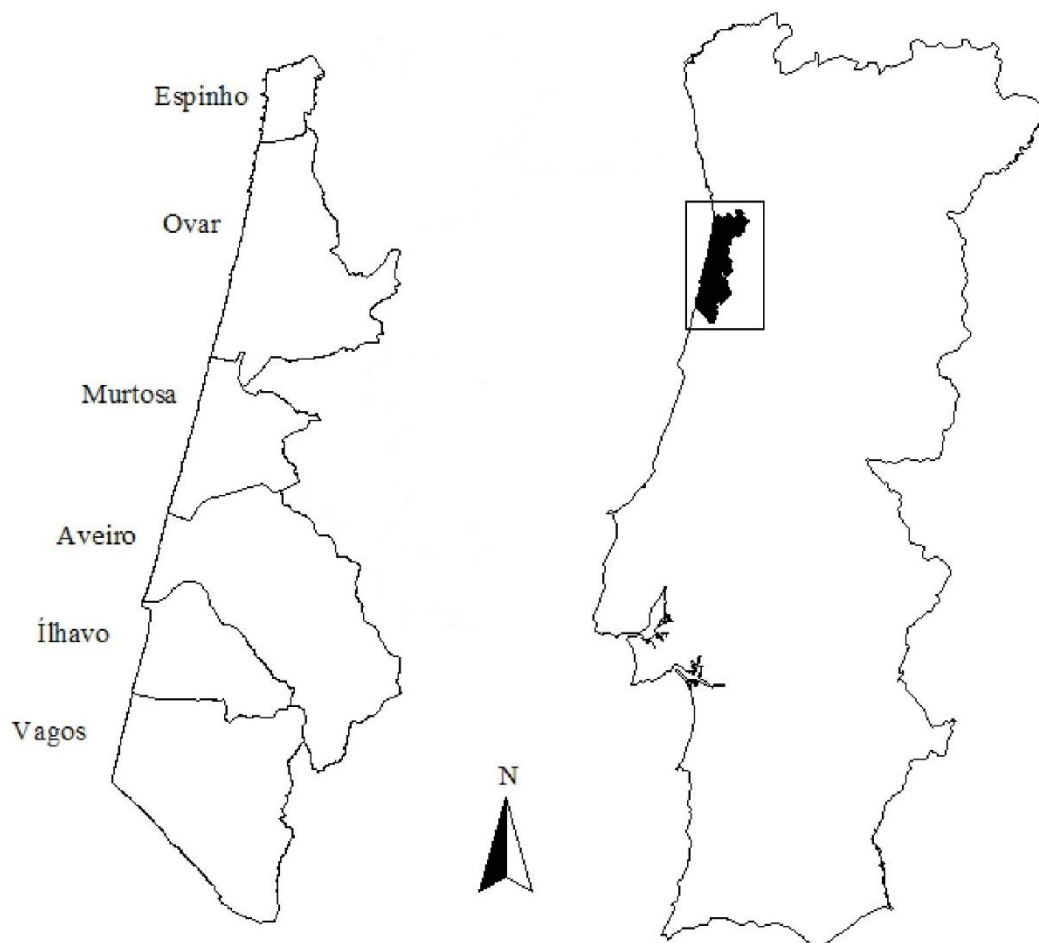


Figura 2 – Localização da área de estudo, correspondendo aos concelhos costeiros do distrito de Aveiro (adaptado de Coelho *et al.*, 2007)

1.2 Objetivos

Partindo do trabalho desenvolvido por Teixeira (2009), o presente trabalho teve como principal objetivo estudar o limite de espraimento das ondas de forma a estimar o posicionamento no terreno da LMPMAVE para todo o litoral do distrito Aveirense, e consequentemente definir os limites do Domínio Público Marítimo (DPM). Durante a elaboração desta dissertação procurou-se atingir outros objetivos, como relacionar o tema com a respetiva legislação em vigor, proceder ao levantamento do maior número possível de formulações para a estimativa do limite do espraimento da onda, realizar análises de sensibilidade em função dos vários parâmetros envolvidos, caracterizar o litoral do distrito de Aveiro, definir as expressões de estimativa da altura de espraimento mais adequadas para o distrito de Aveiro, representar sobre fotografia aérea a LMPMAVE e os limites da parte terrestre do DPM, e por fim analisar e comentar os resultados obtidos.

1.3 Metodologia

O trabalho desenvolvido começou por uma recolha de diversas formulações existentes para o cálculo do espraçamento das ondas, tanto para ambientes naturais, como artificializados. Através da recolha de formulações pretendeu-se verificar quais os parâmetros mais utilizados nas formulações de cálculo da altura de espraçamento. Avaliaram-se para que tipos de fronteiras costeiras e ondulação se aplicam as formulações, se são provenientes de estudos em laboratório ou de trabalho de campo, qual a estrutura das expressões propostas e que níveis de espraçamento forneciam os valores máximos.

Posteriormente foi realizada uma análise da sensibilidade dos resultados de cada formulação aos parâmetros intervenientes, e realizou-se a análise e comparação do resultado entre formulações. Esta análise teve como principal objetivo a compreensão da influência de cada um dos parâmetros envolvidos no cálculo da altura de espraçamento. Também se pretendeu perceber que tipos de relações existem entre formulações que se aplicam a diferentes fronteiras costeiras (praias naturais ou estruturas artificiais), para diferentes regimes de ondulação e diferentes níveis de espraçamento.

Após a análise e comparação do resultado de cada uma das formulações, definiram-se os parâmetros hidrodinâmicos e morfológicos característicos do distrito de Aveiro e definiram-se duas expressões de cálculo, consideradas representativas do litoral Aveirense. Finalmente, com recurso ao *software AutoCAD*, foi representado sobre fotografia aérea o posicionamento da LMPMAVE e os limites do DPM para o litoral do distrito de Aveiro.

1.4 Estrutura

A dissertação está estruturada em 7 capítulos, sendo que no Capítulo 1 se faz uma breve descrição introdutória do tema em estudo, enquadrando e justificando o propósito da análise desenvolvida. Além disso, são enunciados os objetivos, a metodologia e a estrutura deste trabalho.

No Capítulo 2 procede-se ao enquadramento do tema do espraçamento, relacionando-o com o DPM, tendo em consideração a evolução da legislação ao longo dos anos. Por sua vez, explicita-se o conceito de espraçamento, relacionando com a LMPMAVE. São também identificados os principais agentes da hidrodinâmica marítima e da morfologia da praia, que influenciam o espraçamento.

As várias formulações que estimam a altura de espraçamento são apresentadas no Capítulo 3, assim como os respetivos autores e condicionalismos associados a cada uma das

formulações. Neste capítulo procede-se ainda à categorização das formulações em diferentes classes, de acordo com o tipo de fronteira costeira, ondulação, proveniência dos dados que originaram a formulação e respetivo nível de espraio calculado.

A obtenção e otimização de resultados não seria possível sem a compreensão da influência da variação de cada um dos parâmetros intervenientes no cálculo da altura de espraçamento. Desta forma, torna-se necessária e essencial a realização de análises de sensibilidade. No Capítulo 4, são apresentadas as análises desenvolvidas para as várias formulações e parâmetros intervenientes e são discutidos os resultados obtidos.

O Capítulo 5 compreende toda a caracterização do litoral de Aveiro. Neste capítulo são apresentados e justificados todos os valores adotados para os diversos parâmetros intervenientes no cálculo do espraçamento. Posteriormente, com base nos valores considerados, são apresentadas duas novas formulações para o cálculo da altura de espraçamento, admitidas como apropriadas à estimativa do espraçamento em praias naturais e em estruturas de defesa costeira, no litoral de Aveiro.

No Capítulo 6 é representado sobre fotografia aérea o posicionamento da LMPMAVE e o limite terrestre do DPM. É descrita a metodologia utilizada para definir a representação das linhas intervenientes na demarcação do DPM e procede-se a uma breve análise das áreas correspondentes ao DPM obtido.

Por fim, no Capítulo 7, são expostas as considerações finais e propostos alguns desenvolvimentos que poderão ser realizados no futuro, em seguimento do presente trabalho.

Capítulo 2

ESPRAIAMENTO E O DPM

2 ESPRAIAMENTO E O DPM

Portugal foi um dos primeiros países a legislar sobre a situação jurídica da faixa adjacente ao leito das águas marítimas, depois de, em 1832 e 1845, se terem definido os bens da Nação (Tomé, 1992). O Decreto-Lei de 31 de dezembro de 1864 foi a primeira formulação jurídica a ser criada. Inicialmente, apenas eram consideradas “as praias”, no sentido mais lato do termo, como os terrenos enxutos, normalmente arenosos, deixados a descoberto pelo recuo das águas do mar ou formados por depósito aluvionar. Numa fase posterior, após a entrada em vigor do Código Civil de 1867, em 1868, passaram igualmente a fazer parte do domínio público as arribas, numa faixa de 3 a 50 metros, a partir da aresta da arriba e todos os terrenos do Estado afetos aos usos públicos marítimos (Martins, 1997). Em 1892 foi publicado o Decreto n.º 8 de 1 de dezembro, o qual estabeleceu que são do domínio público as águas salgadas das costas, enseadas, baías, portos artificiais, docas, fozes, rios, esteiros e seus respetivos leitos, cais e praias até onde alcançar o colo da máxima preia-mar de águas vivas e também os lagos, lagoas, canais, valas e correntes de água navegáveis ou flutuáveis, com os seus respetivos leitos e margens (Ministério da Marinha, 1947).

2.1 Enquadramento com o Domínio Público Marítimo

Os Decreto com força de Lei n.º 952, de 15 de outubro de 1914 e o Decreto n.º 5703, de 10 de maio de 1919 estabeleceram a jurisdição marítima. Por um lado, o primeiro Decreto definiu que a jurisdição marítima se estendesse em terrenos do domínio público marítimo, numa faixa de 50 metros de largura a contar da linha da máxima preia-mar de águas vivas, excluindo, assim, o caráter aleatório entre os 3 e os 50 metros definidos no Código Civil de 1867. Por outro, o segundo Decreto obrigou à aplicação da doutrina do Decreto n.º 8, de 1 de dezembro de 1892, a qual previa uma faixa mínima de 50 metros para efeitos de jurisdição marítima. Com a publicação do Decreto n.º 12445, de 29 de setembro de 1926 foi fixada a largura mínima de 50 metros como faixa do domínio público, para as águas marítimas, a contar a partir “da linha do máximo de águas vivas” (Ministério da Marinha, 1947).

Entre o ano de 1926 e 1971, inúmera legislação foi publicada sempre com o intuito de simplificar e agilizar a temática do DPM. São exemplos dessa mesma legislação os seguintes documentos (Martins, 1997): Decreto-Lei n.º 19214, de 8 de janeiro de 1931; Constituição de 1933, artigo 49.º; Decreto-Lei n.º 37707, de 30 de dezembro de 1949; Decreto-Lei n.º 39083, de 17 de janeiro de 1953; Lei n.º 2130, de 22 de agosto de 1966.

A publicação do Decreto-Lei n.º 468/71, de 5 de novembro (DR, 1971), revê, atualiza e unifica o regime jurídico dos terrenos incluídos no domínio público hídrico. Este diploma não

visa regular o regime das águas públicas que compõem o domínio público hídrico, mas os leitos, as margens e as zonas adjacentes. No artigo 2.º do mesmo documento é definido o leito como o terreno coberto pelas águas não influenciadas por cheias extraordinárias, inundações ou tempestades, e que o leito das águas do mar, assim como das demais águas sujeitas à influência das marés, é limitado pela LMPMAVE. A definição de margem vem descrita no artigo 3.º, e de acordo com o mesmo artigo, entende-se por margem a faixa de terreno contígua ou sobranceira à linha que limita o leito das águas. Porém, se esta linha atingir arribas alcantiladas, a largura da margem será contada a partir da crista do alcantil. A largura da margem para as águas do mar será de 50 metros.

Nos últimos anos foi publicada uma série de diplomas, que pretendem refletir na ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento e do Conselho de 23 de outubro, visando o estabelecimento das bases e o quadro institucional para a gestão sustentável do domínio hídrico, sucessivamente, a Lei n.º 54/2005 de 15 de novembro (Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos), a Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro (Lei da Água) e o Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio (Regime das Utilizações dos Recursos Hídricos).

Segundo Branco e Coito (2011), o domínio público hídrico é constituído pelo conjunto de bens que pela sua natureza são considerados de uso público e de interesse geral, que justificam o estabelecimento de um regime de carácter especial aplicável a qualquer utilização ou intervenção nas parcelas de terreno localizadas nos leitos das águas do mar, correntes de água, lagos e lagoas, bem como as respetivas margens e zonas adjacentes a fim de os proteger. Sendo o domínio público hídrico um conceito de importante relevância, este vem consagrado na própria Constituição da República Portuguesa (artigo 84.º) e definido no artigo 2.º da Lei n.º 54/2005 (Teixeira, 2009). De acordo com o ponto 2 do artigo.º 2 (DR, 2005), o domínio público hídrico engloba o domínio público marítimo, o domínio público lacustre e fluvial e o domínio público das restantes águas.

Leonardo (2004) referiu de forma sintetizada, que o domínio público marítimo é uma faixa de terreno que corresponde à linha de costa e juridicamente faz parte do domínio hídrico. No artigo 3.º da Lei n.º 54/2005 (DR, 2005), encontra-se definido o domínio público marítimo. Este último compreende as águas costeiras e territoriais; as águas interiores sujeitas à influência das marés, nos rios, lagos e lagoas; o leito das águas costeiras e territoriais e das águas interiores sujeitas à influência das marés; os fundos marinhos contíguos da plataforma continental, abrangendo toda a zona económica exclusiva; as margens das águas costeiras e das águas interiores sujeitas à influência das marés.

2.2 Noção de Espraçamento

De acordo com Veloso-Gomes (1981), designa-se por espraçamento a cota máxima atingida por uma onda marítima, ao interagir com uma praia ou uma estrutura costeira. A cota é medida na vertical e tem por referência o nível médio da água do mar (NMM) (Figura 3). Numa perspetiva mais atual, segundo o Eurotop (2007), a altura de espraçamento é dada por $R_{2\%}$. Este é o nível de espraçamento, medido verticalmente a partir do nível médio da água do mar, que é excedido pelas ondas incidentes em 2% das vezes.

Fisicamente o espraçamento é o movimento ascendente da água da onda incidente, após a rebentação, através da face da praia. Este fenómeno ocorre na ante praia, sendo esta zona a porção inclinada do perfil de praia compreendido entre a crista da berma de praia ou, na ausência desta, entre o limite superior da zona abrangida pelo espraio da onda na maré cheia, e a zona da maré baixa marcada pelo refluxo da onda subsequente ao espraio (JICZM, 2012a). O espraçamento depende da reflexão das ondas e dos efeitos tridimensionais da batimetria, bem como da porosidade, rugosidade, permeabilidade e do nível freático. O comportamento em estruturas de defesa é distinto do comportamento numa praia natural (Smith, 2003).

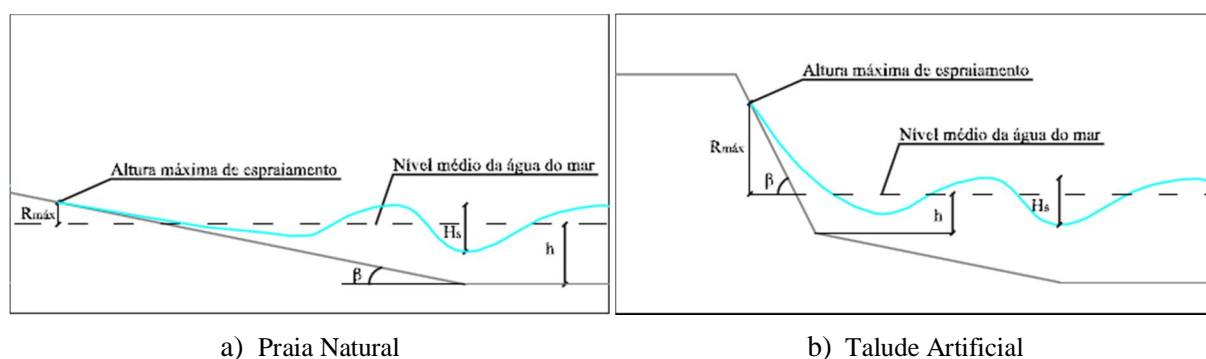


Figura 3 – Definição de espraçamento

O conceito de espraçamento está diretamente relacionado com a LMPMAVE. Segundo Teixeira (2009), a LMPMAVE corresponde à linha notável, definida na Lei n.º 54/2005 (DR, 2005), coincidente com o limite entre o leito e a margem das águas do mar. Além do seu significado fisiográfico, como limite superior da área sujeita à influência das marés, esta linha assume ainda carácter de limite administrativo, decorrente do facto de na estrutura administrativa e orgânica do Estado, se atribuir as competências de gestão e licenciamento dos usos e ocupações no leito e na margem a diferentes organismos.

O espraçamento é dependente da agitação incidente e da morfologia da praia, pelo que as secções seguintes apresentam algumas noções sobre estas questões.

2.3 Hidrodinâmica Marítima

As ondas são o fenómeno mais dominante na zona costeira. As mais comuns e significantes, são as ondas geradas pelo vento. Outras ondas menos frequentes como os *tsunamis*, gerados pelos sismos ou grandes movimentos de massas, e também as ondas provocadas pelo movimento de embarcações, devem ser tidas em conta em determinadas zonas, uma vez que podem ter gravosas consequências (Sorensen, 2006). No entanto, também se deve ter em conta as marés astronómicas geradas pela atração gravitacional do Sol e da Lua, o grau de exposição das praias, assim como o rumo dominante da agitação marítima.

Sendo a LMPMAVE uma linha definida pela maré gerada em águas vivas equinociais sob condições médias de agitação marítima é importante conhecer e quantificar os parâmetros que condicionam a expressão física dessa linha no terreno (Teixeira, 2009). Para realizar a caracterização destes agentes modeladores do litoral, nomeadamente a maré e a agitação marítima, será necessário aceder a informação registada ao longo do litoral português, através da respetiva rede de marégrafos e de boias ondógrafo, e avaliar a ondulação incidente em condições médias ou extremas de agitação.

2.3.1 Marés

As marés são um fenómeno resultante da atração gravitacional exercida pelo Sol e pela Lua (IH, 2012a). Para uma melhor compreensão dos vários conceitos relacionados com o fenómeno das marés astronómicas, a Figura 4 exhibe os vários níveis de maré, assim como os planos de referência.

A ação gravitacional em simultâneo do Sol e da Lua tem como principal consequência a alternância entre marés vivas e mortas. Quando à ação gravitacional do Sol se adiciona a ação gravitacional da Lua é gerada uma maré de maior amplitude, designada maré viva. Quando a ação do Sol contraria a da Lua, origina uma maré de menor amplitude, chamada maré morta (IH, 2012a). Segundo IH (2012a), quando o astro que provoca a maré está sobre o Equador ou próximo dele, as marés tendem a ter uma maior amplitude. No caso do Sol, esse fenómeno ocorre nos equinócios: o da primavera é em geral a 21 de março e o do outono por volta de 23/24 de setembro. As marés vivas que ocorrem próximo dos equinócios chamam-se marés vivas equinociais. Aliando-se a este fenómeno a situação de preia-mar provocada somente pela ação gravitacional da Lua, atingem-se as marés de maior amplitude de cada ano. Diretamente relacionada com este tipo de marés está o conceito de LMPMAVE.

Convém referir que o nível da água do mar depende ainda de outros fatores que não a maré astronómica, tais como a pressão atmosférica, ventos e a agitação marítima. A pressão

atmosférica é o mais importante dos fatores não astronômicos que influenciam a subida e descida do nível do mar. Com efeito, as baixas pressões, muitas vezes associadas a tempestades, produzem um aumento do nível das águas e, inversamente, as altas pressões estão associadas a uma descida do nível do mar. Também o vento influencia o nível da água do mar, por exemplo: soprando do mar para a terra provoca a subida do nível das águas junto à costa; soprando de terra para o mar provoca a consequente descida das águas junto à costa (IH, 2012a).

De acordo com o Eurotop (2007), o conhecimento do nível de água do mar é extremamente importante para a previsão da altura do espraçamento e do galgamento. É importante prever e estimar corretamente estas alturas, pois além de serem usadas para projetar estruturas de defesa costeira, permitem definir o DPM com uma maior precisão.

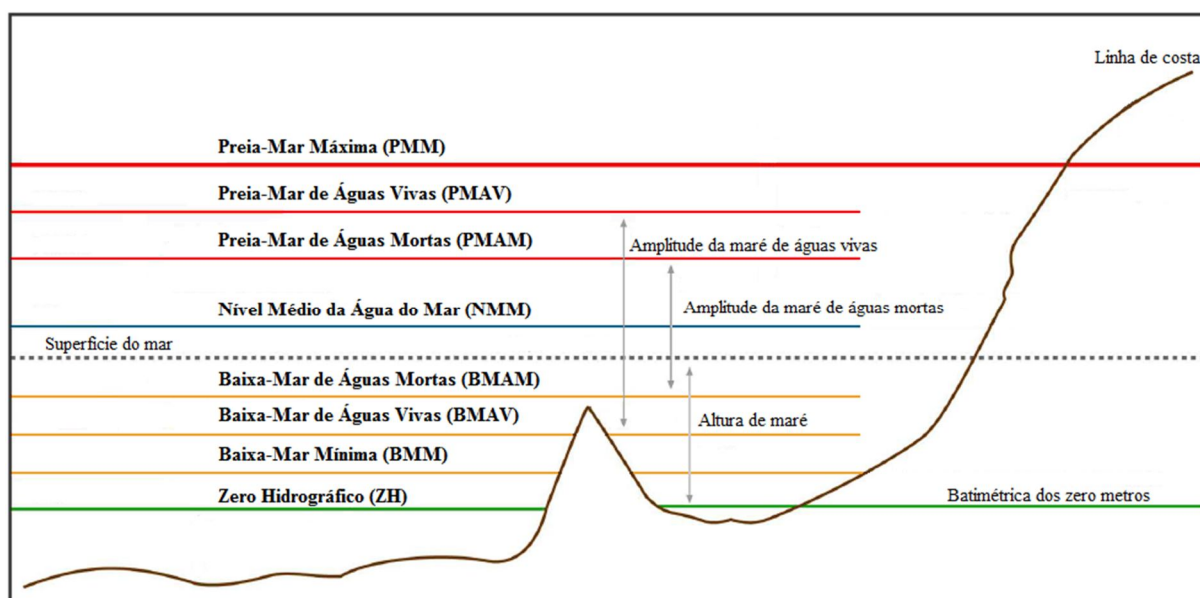


Figura 4 – Níveis da maré e planos de referência (adaptado de IH, 2012b)

2.3.2 Agitação marítima

De acordo com o processo de formação da agitação marítima, pode-se classificar os diferentes tipos de agitação marítima em ondas, vagas, seichas e *tsunamis*. Segundo Coelho (2005), as seichas são ondas de oscilação de longo período, associadas a fenômenos de ressonância. Os *tsunamis* são ondas de translação, normalmente associadas a fenômenos sísmicos de consequências previsivelmente catastróficas, sendo de realçar a elevada incapacidade científica na sua previsão. As vagas resultam do efeito de ventos locais e originam um estado de agitação irregular, podendo coexistir com ondas provenientes de outros temporais (Sorensen, 2006).

As ondas marítimas propagam-se longe da zona onde foram geradas, sendo por isso, mais regulares devido a um efeito natural de “filtro”. Em todo o caso existe variabilidade nas características das ondas dentro de um mesmo estado de agitação, variabilidade que pode ser representada por espectros de energia de banda larga ou banda estreita, consoante a maior ou menor irregularidade de alturas de onda (H) e períodos de onda (T) (Coelho, 2005).

Quando se refere a agitação ao largo, esta deve ser entendida como a agitação em águas profundas, que corresponde a uma profundidade superior a metade do comprimento de onda (Coelho e Veloso-Gomes, 2003). Em sentido oposto, quando se refere a zona de rebentação esta é a faixa correspondente à diminuição de profundidade que provoca a rebentação das ondas. Esta zona é mais ou menos larga, consoante as características da onda, nomeadamente a declividade da onda, e a inclinação do fundo (JICZM, 2012b). A forma como a onda rebenta (tipo de rebentação) é função, essencialmente, da inclinação da praia e da declividade da onda (JICZM, 2012c).

No cálculo da altura de espraçamento das ondas, a altura de onda geralmente mais utilizada é a altura significativa da onda (H_s). A altura significativa da onda é a média do terço de ondas mais altas, e pode ser considerada ao largo ou na zona de rebentação. Esta diferenciação local do conceito de altura significativa da onda produz resultados que podem variar entre 10% a 15%, quando utilizada para uma mesma formulação (Eurotop, 2007). Segundo Coelho (2005), a gama de alturas significativas da onda que incidem sobre uma região costeira serve como indicador da energia das ondas, sendo os seus valores extremamente variáveis de região para região e no tempo.

Para um espectro de onda ou registo de onda podem-se definir vários períodos de onda. Os períodos de onda mais convencionais são o período de pico (T_p), o período médio (T_m) e o período significativo (T_s). O período de pico corresponde à frequência com maior densidade espectral enquanto o período médio, calculado a partir do espectro ou registo de onda, é a média dos períodos observados. O período significativo é a média do terço de ondas mais altas (Eurotop, 2007). De acordo com Coelho e Veloso-Gomes (2003), a alturas de onda superiores correspondem também períodos de onda mais elevados (períodos de inverno) e a alturas de onda inferiores correspondem frequências maiores e menores períodos de onda (meses de verão). Segundo Ruggiero *et al.* (2004) deve-se utilizar o período de onda máximo em detrimento do período de onda médio, uma vez que o espraio máximo depende quase exclusivamente das ondas com menores frequências. Para além disto, deve-se ter em consideração que as soluções para os regimes naturais, com distribuições irregulares de

espraio, tomam sempre em consideração o período de pico (CEM, 2002; Eurotop, 2007). Para um qualquer espectro de agitação marítima, as ondas que imprimem a linha de maré a cotas mais elevadas do areal são as ondas de maior energia, associadas ao período de pico, ou as ondas com maior celeridade, ou seja, com maior período (Teixeira, 2009).

A declividade da onda (s) é definida pelo quociente entre a altura de onda e o comprimento de onda. Shankar e Jayaratne (2003) referem que o espraçamento diminui com o aumento da declividade da onda, especialmente em taludes rugosos e de inclinação suave. Além disso, a declividade da onda mostra ser um bom parâmetro para descrever o efeito combinado da altura de onda e do período de onda no efeito de espraçamento. A declividade da onda está inteiramente relacionada com o número de Iribarren (ξ) ou coeficiente de similaridade, assim como o declive da praia. De acordo com este parâmetro, pode-se classificar o tipo de rebentação da onda em progressiva ($\xi < 0.5$), mergulhante ($0.5 < \xi < 3.3$) e oscilatória ($\xi > 3.3$) (Coelho, 2005).

O comprimento de onda (L) representa a distância entre duas cristas ou duas cavas da onda (JICZM, 2012d). De acordo com Komar (1976) este parâmetro pode ser calculado utilizando o período de onda, através da teoria linear das ondas de superfície, expressão (1).

$$L = \frac{g \times T^2}{2\pi} \times \tanh\left(\frac{2\pi \times d}{L}\right) \quad (1)$$

No entanto, para ondulação ao largo, a componente da tangente hiperbólica assume um valor igual à unidade. Desta forma o comprimento de onda calcula-se simplesmente pela seguinte expressão:

$$L = \frac{g \times T^2}{2\pi} \quad (2)$$

Nas expressões (1) e (2), o parâmetro g representa a aceleração da gravidade.

Stefanakis *et al.* (2011), no seu estudo acerca do fenómeno de ressonância entre o comprimento de onda de ressonância (λ) e o declive do talude, relacionam o espraçamento máximo, para uma dada praia, com o comprimento de onda de ressonância. Para declives cada vez maiores, o espraçamento máximo aumenta também.

O rumo da ondulação incidente, deve ser um fator também contabilizado no cálculo do espraçamento, pois para além de ser importante o conhecimento do rumo dominante da agitação marítima, por forma a melhor se definirem os parâmetros característicos do litoral de

Aveiro, o rumo também influencia o ângulo de incidência das ondas durante a rebentação, que por sua vez condiciona o impacto da rebentação, e consequentemente, a quantidade de massa de água que espraia na praia (Afonso, 2011). O espraçamento será tanto maior quanto menor for o ângulo entre a direção de propagação das ondas e a direção perpendicular à praia ou estrutura costeira.

2.3.3 Grau de exposição

A partir da década de 70 do século XX, foram construídas múltiplas estruturas de proteção para combater a regressão da linha de costa no distrito de Aveiro. Desta forma, artificializou-se o litoral nomeadamente nas zonas mais críticas: Espinho, Esmoriz, Cortegaça, Furadouro e na zona entre a Costa Nova do Prado e a Vagueira. Estas intervenções levaram a um decréscimo energético nas ondas chegadas às praias, uma vez que as ondas passaram a dissipar a sua energia nas obras longitudinais entretanto construídas (Coelho *et al.*, 2007). Mas o grau de exposição não se relaciona somente com as zonas artificializadas. As praias naturais também possuem diferentes graus de exposição e uma vez que o nível energético de uma praia está diretamente relacionado com o grau de exposição pode-se classificar as praias em praias expostas e praias abrigadas, podendo ainda acrescentar-se semi-expostas segundo alguns autores. Praias expostas podem definir-se, em geral, pelos seus níveis energéticos relativamente altos, onde as ondas incidem diretamente sobre a linha de costa. As praias abrigadas por sua vez são praias com níveis energéticos mais baixos e que de alguma forma estão protegidas da incidência direta das ondas na linha de costa (Faria, 2005).

O nível energético de uma praia está diretamente relacionado com o declive da praia, que por sua vez condiciona o tipo de rebentação. As praias dissipativas normalmente são praias de declive suave e associam-se à rebentação do tipo progressiva. À rebentação do tipo mergulhante associam-se praias intermédias e às praias de nível energético refletivo, na sua maioria com declive acentuado, associa-se a rebentação do tipo oscilatória (Osborne e Simpson, 2005).

Teixeira (2009) refere no seu estudo que a conjugação do grau de exposição à agitação marítima e à granulometria dos sedimentos das praias condicionam a morfodinâmica das praias. Aliás, estes três parâmetros relacionam-se bastante entre si no cálculo da altura do espraçamento. O mesmo autor concluiu que para as mesmas condições de agitação marítima as zonas mais expostas e com granulometria mais grosseira correspondiam a zonas com

maiores inclinações da face da praia, ou seja, maiores declives, enquanto nas zonas menos expostas e com granulometria mais fina o declive da praia era menor.

De acordo com McLean e Kirk (1969), na avaliação do declive devem ser considerados os fatores grau de exposição da praia e se a praia está a ser alvo de erosão ou de acréscimo de material, uma vez que podem influenciar e definir declives mais acentuados ou suaves para uma igual granulometria do material. Wiegel (1964) refere que de acordo com o primeiro fator, o grau de exposição, as praias abrigadas têm maiores declives do que as praias mais expostas. Ainda segundo o mesmo autor, os processos de erosão contribuem para originar declives menos acentuados enquanto o depósito de material excedentário contribui para o aparecimento de declives mais acentuados. No entanto, a granulometria do material, através da permeabilidade, exerce um primeiro controlo na inclinação dos taludes das praias naturais (Inman e Bagnold, 1966; Shepard, 1963).

2.4 Morfologia da Praia

A grande maioria da zona costeira mundial é constituída por praias arenosas, mas também se podem encontrar praias cobertas por cascalho, zonas costeiras constituídas por arribas, que podem ter ou não praias na sua base (Sorensen, 2006), para além das zonas costeiras protegidas por estruturas de defesa costeira.

De acordo com Short (1999), o comportamento temporal das características morfodinâmicas de uma praia é determinado pelo clima de ondas, o qual varia regionalmente e globalmente. As ondas que chegam às praias, depois de rebentarem, espraçam sobre o talude da praia e estão constantemente a alterar o perfil da praia. Esta constante remodelação do perfil da praia ocorre devido ao facto das características da onda incidente (altura, período e/ou rumo da ondulação) serem raramente regulares e homogéneas ao longo do tempo (Sorensen, 2006).

As alterações no perfil da praia envolvem muitas variáveis, dificultando a formulação de modelos de previsão do comportamento dos vários fenómenos que ocorrem na praia, nomeadamente o espraçamento. Somente a partir da década de 70 do século XX, as características dos sedimentos, os processos de formação e transformação das ondas na ante praia, associados com a morfologia tridimensional e a hidrodinâmica da praia, começaram a ser estudados de maneira integrada. Tais estudos levaram a um melhor conhecimento do comportamento das zonas de praia, das zonas de rebentação e também à formulação de modelos sequenciais de comportamento morfodinâmico daqueles sistemas. Características

morfológicas da praia, como por exemplo o declive da face da praia e a granulometria das areias, são fatores que condicionam o espraçamento das ondas (Calliari *et al.*, 2003).

2.4.1 Declive

Os estudos sobre a inclinação da face da praia ter-se-ão iniciado nos anos 30 do século XX, mas apenas nas décadas de 60 e 70 se começaram a estudar os principais fatores responsáveis pelas variações da inclinação da praia. Os fatores que influenciam a inclinação da praia serão principalmente a dimensão do grão dos sedimentos e as características das ondas (altura, período e declividade). O nível de maré, o lençol freático da praia e a velocidade de corrente longilitoral serão outros fatores significativos (Ferreira, 1998).

Segundo Teixeira (2009), a inclinação da face das praias é um dos indicadores morfodinâmicos mais importantes na análise da problemática da LMPMAVE, na medida em que condiciona quer o tipo de rebentação das ondas, quer a altura que o espraio das ondas atinge.

A grande maioria das formulações existentes para o cálculo da altura de espraçamento depende do declive da estrutura (natural ou artificial) onde a onda espraia, sendo por isso sensíveis a este parâmetro. Uma vez que o declive de uma praia natural varia no espaço (longitudinalmente e transversalmente), e também no tempo (verão, inverno, tempestades, etc.), e não sendo possível representar cada local com um declive diferente, é frequente adotar-se um valor representativo do declive médio na superfície da praia (Teixeira, 2009). Hughes e Turner (1999) indicaram que as características da praia podem ser adotadas em qualquer localização, como a zona entre marés, ou mais frequentemente a interpolação linear dos valores desde a linha de costa em baixa-mar e a crista da berma ou a base da duna. Para Ferreira (1998), a face da praia localiza-se na zona de transição entre a praia emersa e a praia submersa, correspondendo à área afetada pelo espraio da onda no decurso do ciclo de maré. Esta coincidirá frequentemente com a extensão de praia que se estende desde o nível mais baixo atingido pela maré, até à crista da berma. Para Komar (1976), o equilíbrio da inclinação da praia depende fundamentalmente da quantidade de água perdida por percolação no espraio das ondas. O nível de percolação é governado essencialmente pela dimensão de sedimentos, já que as praias com areias de maior dimensão são mais permeáveis e as praias compostas por areias mais finas serão menos permeáveis. Assim, resulta que nas praias de areia mais grossa a ação de retorno do espraio das águas (refluxo) é reduzida e consequentemente a sua inclinação é maior.

Segundo McArdle e McLachlan (1992), a altura de onda e o declive da face da praia explicam a grande variabilidade do espraçamento de ondas ao longo do espectro morfodinâmico. À medida que o declive de uma praia tende a ficar cada vez mais suave, o tempo de um ciclo entre espraçamento e refluxo tende a aumentar e a interação entre o refluxo e o próximo movimento de espraçamento ganha maior importância (Mase e Iwagaki, 1984). Alves *et al.* (2004) referem no seu estudo que, praias de perfis suaves, com baixo declive, associadas a uma baixa permeabilidade (areia fina) podem originar espraçamentos de onda extensos e duradouros mesmo que o espraçamento tenha uma velocidade reduzida provocada pela dissipação de parte da energia da onda na zona de *surf*. Os mesmos autores concluíram também que ondas que dissipem a sua energia diretamente sobre a face da praia apresentam espraçamentos de onda com velocidades um pouco mais elevadas. No entanto, um declive acentuado associado à alta permeabilidade do material (areia grossa) condiciona o espraçamento, podendo este ser curto e pouco duradouro.

Van der Meer e Stam (1992) desenvolveram um estudo acerca do espraçamento em taludes lisos e rochosos de estruturas costeiras. Concluíram que um fator redutor do espraçamento em taludes rugosos, baseando-se em formulações para taludes lisos, como sugerido por SPM (1984), seria apenas aplicável para taludes suaves com um coeficiente de similaridade $\xi < 2$. Para $\xi > 6$, tanto para os taludes lisos como para os rugosos, iriam produzir-se resultados de espraçamento similares.

2.4.2 Granulometria

As características da ondulação incidente, a granulometria dos sedimentos das praias e a inclinação da face da praia ou a morfologia, funcionam como variáveis interdependentes. Esta relação foi identificada por diversos autores (Bascom, 1951; Wright e Short, 1984; Komar 1998; Short, 1999), que verificaram que, para o mesmo regime de ondulação, a inclinação da face da praia e a probabilidade de persistir perfil refletivo é tanto maior quanto mais grosseira é a areia da praia. Alves *et al.* (2004), também verificaram uma relação entre o estado morfodinâmico das praias e a variabilidade temporal no tamanho médio e seleção do sedimento, sendo a magnitude desta variação maior nas praias do tipo refletivo.

A relação entre a granulometria e o declive da praia foi estabelecida com base em inúmeras observações das características da praia, em diversas partes do mundo. Wright e Short (1984) avaliaram, em praias dissipativas, o parâmetro adimensional de velocidade de queda do sedimento, procurando estabelecer uma relação entre a granulometria da areia e o nível energético correspondente da praia. No entanto, o parâmetro adimensional de velocidade de

queda do sedimento foi considerado, por vários autores (Anthony, 1998; Levoy *et al.*, 2000; Masselink e Pattiaratchi, 2001; Jackson *et al.*, 2005), como um estimador bastante grosseiro dos vários estados morfodinâmicos da praia e por isso, pode ser considerado como um parâmetro inadequado para caracterizar de forma fidedigna o tipo de nível energético associado à praia. Anthony (1998) sugere que os parâmetros da praia baseados no próprio declive, como por exemplo o número de Iribarren, são melhores indicadores da morfodinâmica da praia do que a granulometria do material constituinte da praia. A proporcionalidade entre o declive da praia e a granulometria foi descrita por alguns autores (Bascom, 1951; McLean e Kirk, 1969; Dubois, 1982; Sunamura, 1984; Komar, 1998), os quais associaram esta relação à infiltração do espraçamento e à permeabilidade. Se a infiltração do espraçamento é significativa numa determinada praia, a água infiltrada não irá participar no refluxo da onda (Kemp, 1975) e isto irá controlar o declive em praias arenosas relativamente grosseiras (Bagnold, 1940; Quick, 1991). A infiltração do espraçamento depende da permeabilidade do material constituinte do talude onde a onda espraia, e é tanto maior quanto maior for a granulometria do material e a distribuição granulométrica (Bascom, 1951; Shepard, 1963; Pryor, 1973; Selley, 1988; Masselink e Li, 2001). De acordo com Quick (1991), Komar (1998), Masselink e Li (2001), em praias de areia grossa (> 1 mm), onde a infiltração do espraçamento é bastante importante, o declive da praia tende a aumentar com a permeabilidade (Reis e Gama, 2010).

Uma série de estudos levados a cabo por vários autores (Bagnold, 1940; Packwood, 1983; Quick, 1991) referem que a infiltração na zona de espraçamento é apenas importante para praias de granulometria grosseira, uma vez que, ensaios realizados por Masselink e Li (2001) demonstraram que a infiltração do espraçamento em praias de granulometria mais grosseira produz declives mais acentuados do que em praias de granulometria mais fina (Reis e Gama, 2010).

Segundo Nielsen e Hanslow (1991), da análise efetuada aos registos das praias de *New South Wales*, Austrália, verificou-se que o espraçamento tem tendência a aumentar com o aumento da diversidade dos tamanhos dos sedimentos existentes na praia. Esta diversidade é definida através da razão entre o tamanho médio dos sedimentos existentes na zona de espraio (d_{sr}) e o tamanho médio dos sedimentos existentes na zona de rebentação (d_{sw}). Normalmente esta razão é maior do que um e para as praias de *New South Wales* registaram-se valores entre 1.00 e 1.60.

Capítulo 3

ESTIMATIVA DO ESPRAIAMENTO

3 ESTIMATIVA DO ESPRAIAMENTO

O cálculo da altura de espraçamento realiza-se através de diferentes formulações, todas elas de carácter empírico. As diferentes formulações apresentam diversos parâmetros na sua estrutura, todos eles intervenientes no cálculo do valor da altura de espraçamento, variando essencialmente o campo de aplicação da formulação, em função da fronteira costeira.

Pretende-se com o presente capítulo, apresentar as várias formulações que permitem calcular a altura de espraçamento, mais precisamente as 60 formulações identificadas, e classificá-las em função de determinados critérios. As 60 formulações apresentam condicionalismos que foram considerados nas análises de sensibilidade e no cálculo da altura de espraçamento. Além disso, foram também analisadas e consideradas as diferentes relações entre diferentes alturas de onda e períodos de onda. As formulações foram também classificadas e organizadas em tabelas, criando-se no final um organograma, para uma leitura facilitada dos vários tipos de formulações.

3.1 Formulações de Cálculo

Entre as primeiras investigações sobre o espraçamento encontram-se as contribuições de Grantham (1953), Saville (1955, 1956, 1958) e Savage (1958). Estas investigações consistiram na medição do espraçamento causado por ondas regulares que incidiram em vários tipos de taludes, como por exemplo em taludes lisos ou rugosos, taludes compostos, entre outros. Os resultados do espraçamento foram definidos em função dos vários parâmetros da onda e das características do talude (Hughes, 2004). Para além das contribuições referidas atrás, muitas outras formulações foram propostas à medida que novas descobertas eram feitas e novos meios eram disponibilizados (Hunt, 1959; Battjes, 1971; Holman e Sallenger, 1985; Holman, 1986; Nielsen e Hanslow, 1991; Raubenheimer e Guza, 1996; Masselink e Hughes, 2003; Hedges e Mase, 2004; Stockdon *et al.*, 2006; Teixeira, 2009). Todas estas formulações são empíricas, dependendo, na sua maioria, da altura significativa de onda, definida ao largo, do comprimento de onda ao largo e do declive da praia.

De entre os vários parâmetros intervenientes nas diversas formulações que permitem calcular a altura de espraçamento, o número de Iribarren assume grande destaque. Iribarren e Nogales (1949) foram os primeiros a transpor a importância da combinação da declividade da onda e do declive da praia ou estrutura num só parâmetro, através da expressão (3), o número de Iribarren. Vários investigadores (Hunt, 1959; Galvin, 1972; Battjes, 1974) salientaram a importância deste parâmetro tanto na rebentação das ondas como no fenómeno de

espraçamento. Para taludes ligeiramente inclinados, Hunt (1959) reconheceu que o espraçamento era proporcional ao número de Iribarren sob condições de rebentação das ondas. Também Battjes (1974) forneceu uma explicação física para a relação entre o espraçamento e o número de Iribarren para o caso de taludes ligeiramente inclinados.

$$\xi = \frac{\tan(\beta)}{\sqrt{\frac{H}{L}}} \quad (3)$$

A formulação de Battjes (1971) foi das mais testadas ao longo dos anos por diversos autores, para uma extensa gama de condições de agitação marítima, níveis de altura de espraio e declives. Holman (1986), Nielsen e Hanslow (1991) e Ruggiero *et al.* (2004) testaram a formulação em condições naturais, em praias. Mase (1989), Van de Walle *et al.*, (2004) e Roberts *et al.*, (2007) testaram-na em laboratórios e por fim, Ahrens (1981), Van der Meer e Stam (1992), Hughes (2003) e Eurotop (2007) também testaram a formulação, mas em estruturas de defesa costeira. A formulação de Holman (1986) foi confirmada por Nielsen e Hanslow (1991) em praias australianas com declives entre 1.5° e 10.7°.

Segundo Teixeira (2009), as diversas formulações que permitem o cálculo da altura de espraio das ondas podem ser divididas em dois grupos, dependendo da complexidade das fórmulas e das variáveis necessárias para a sua resolução: um primeiro grupo de fórmulas, mais simples, que relacionam diretamente a altura do espraio com a altura da ondulação incidente e um segundo grupo de equações, mais complexas, que, além da altura da ondulação, consideram ainda os outros parâmetros escalares da ondulação e o declive da estrutura natural (p. ex. praia) ou artificial (p. ex. enrocamento) onde as ondas incidem. O mesmo autor propõe formulações genéricas para praias naturais e arribas mergulhantes, baseando-se no longo período de recolha de dados e informações no litoral sul do Algarve.

As Tabelas 1, 2 e 3 reúnem as diversas formulações recolhidas para análise no presente estudo. Cada tabela é constituída por quatro colunas, sendo a primeira coluna destinada ao número de identificação de cada formulação, a segunda coluna apresenta a constituição de cada formulação, a terceira coluna mostra algumas observações/condicionantes que se consideraram durante a análise de cada formulação, e por fim, a quarta e última coluna identifica o autor que propôs cada formulação. Optou-se por numerar cada formulação, uma vez que foram recolhidas algumas formulações de um mesmo autor. Desta forma, a identificação de cada formulação durante a sua análise é feita com base no seu número de identificação, tendo-se indicado o autor sempre que se considerou relevante.

Tabela 1 – Formulações para o cálculo da altura de espraçamento (1)

Nº	Fórmulas	Observações	Método
1	$R_{2\%} = 8H_s \times \tan \beta$	$\beta \leq 16^\circ$	Wassing (1957)
2	$R = (H \times L)^{0.5} \times \tan \beta$	$\xi \leq 2.3$	Hunt (1959)
	$R = 3H$	$\xi \geq 3.3$	
3	$R_{m\acute{a}x} = 10H_s \times \left(\frac{15}{\Delta X}\right)^{2/3}$	-	Mather <i>et al.</i> (2010)
4	$R_{m\acute{a}x} = \frac{0.12H_s}{\left(\frac{H_s}{L_p}\right)^{0.5}}$	-	Douglass (1992)
5	$R = \frac{H \times \sin \beta}{\left(\frac{H}{L}\right)^{0.5}}$	a)	Walton <i>et al.</i> (1989)
	$R = (2\pi)^{0.5} H \times \left(\frac{\pi}{2\beta}\right)^{1/4}$	b)	
6	c)	$0.5 < \gamma_b \times \xi_e \leq 8$	Eurotop (2007)
7	$R = 0.4H \times \xi$	$\xi < 3$	Günbak (1979)
	$R = 1.2H$	$\xi \geq 3$	
8	$R = \frac{0.8H \times \xi}{1 + 0.5\xi}$	-	
9	$R_{2\%} = 2.222h \times (\tan \beta)^{0.7} \left(\frac{M_F}{\rho \times g \times h^2}\right)^{0.5}$	$2 \leq \cot \beta \leq 4$	Hughes (2005)
10	$R_{2\%} = 1.76H_s \times (1 - e^{-0.28\xi_m})$	-	Kingston e Murphy (1996)
11	$R_s = 0.7H_s$	-	Guza e Thornton (1981)
12	$R_{2\%} = \frac{4.1H_s}{N_0} \times \sqrt{\frac{d_{sw}}{d_{sr}}}$	-	Ahrens e Sellig (1996)
13	$R_{m\acute{a}x} = 2.319H_s \times \xi_s^{0.771}$	$3.33\% \leq \beta \leq 20\%$	Mase e Iwagaki (1984)
14	$R_s = 1.497H_s \times \xi_s^{0.695}$		
15	$R_m = 1.085H_s \times \xi_s^{0.678}$		
16	$R_{2\%} = 0.27 \times (\tan \beta \times H_s \times L)^{1/2}$	-	Holman (1986)
17	$R_{2\%} = (0.83\xi + 0.2) \times H_s$	-	
18	$R_{2\%} = 0.92H_s \times \xi$	-	
19	$R_{m\acute{a}x} = 1.07H_s \times \xi$	-	
20	$R_{m\acute{a}x} = 0.80H_s + 0.62$	-	POOC BV (1999)
21	$R_{m\acute{a}x} = 1.08H_s \times \xi$	-	Teixeira (2009)
22	$R_{m\acute{a}x} = 28.4 \times \tan \beta$	-	
23	$R_{m\acute{a}x} = 2.32H_s \times \xi_p^{0.77}$	-	Mase (1989)
24	$R_{2\%} = 1.86H_s \times \xi_p^{0.71}$	-	
25	$R_s = 1.38H_s \times \xi_p^{0.70}$	-	

$$a) \frac{\sin \beta}{\left(\frac{H}{L}\right)^{0.5}} \leq (2\pi)^{0.5} \times \left(\frac{\pi}{2\beta}\right)^{1/4}$$

$$b) \frac{\sin \beta}{\left(\frac{H}{L}\right)^{0.5}} > (2\pi)^{0.5} \times \left(\frac{\pi}{2\beta}\right)^{1/4}$$

$$c) R_{2\%} = \min \left\{ 1.65H_s \times \gamma_b \times \gamma_r \times \gamma_\alpha \times \xi_e; H_s \times \gamma_b \times \gamma_r \times \gamma_\alpha \times \left(4 - \frac{1.5}{\sqrt{\xi_e}}\right) \right\}$$

Tabela 2 – Formulações para o cálculo da altura de espraiamento (2)

Nº	Fórmulas	Observações	Método
26	$R_{2\%} = 1.5H_s \times \xi_p$	$0.5 < \xi_p < 2$	Van der Meer e Stam (1992)
27	$R_{2\%} = 0.83H_s \times \xi_p$		
28	$R_{0.13\%} = \min\{1.12H_s \times \xi_m; 2.58H_s\}$	$\xi_m \leq 1.5$	
	$R_{0.13\%} = \min\{1.34H_s \times \xi_m^{0.55}; 2.58H_s\}$	$\xi_m \geq 1.5$	
29	$R_{1\%} = \min\{1.01H_s \times \xi_m; 2.15H_s\}$	$\xi_m \leq 1.5$	
	$R_{1\%} = \min\{1.24H_s \times \xi_m^{0.48}; 2.15H_s\}$	$\xi_m \geq 1.5$	
30	$R_{2\%} = \min\{0.96H_s \times \xi_m; 1.97H_s\}$	$\xi_m \leq 1.5$	
	$R_{2\%} = \min\{1.17H_s \times \xi_m^{0.46}; 1.97H_s\}$	$\xi_m \geq 1.5$	
31	$R_{5\%} = \min\{0.86H_s \times \xi_m; 1.68H_s\}$	$\xi_m \leq 1.5$	
	$R_{5\%} = \min\{1.05H_s \times \xi_m^{0.44}; 1.68H_s\}$	$\xi_m \geq 1.5$	
32	$R_{10\%} = \min\{0.77H_s \times \xi_m; 1.45H_s\}$	$\xi_m \leq 1.5$	
	$R_{10\%} = \min\{0.94H_s \times \xi_m^{0.42}; 1.45H_s\}$	$\xi_m \geq 1.5$	
33	$R_s = \min\{0.72H_s \times \xi_m; 1.35H_s\}$	$\xi_m \leq 1.5$	
	$R_s = \min\{0.88H_s \times \xi_m^{0.41}; 1.35H_s\}$	$\xi_m \geq 1.5$	
34	$R_m = \min\{0.47H_s \times \xi_m; 0.82H_s\}$	$\xi_m \leq 1.5$	
	$R_m = \min\{0.60H_s \times \xi_m^{0.34}; 0.82H_s\}$	$\xi_m \geq 1.5$	
35	$R_{2\%} = 1.89H_s \times \xi_p$	$\xi_p < 2$	Allsop (1994)
	$R_{2\%} = (4.2 - 0.35\xi_p) \times H_s$	$\xi_p \geq 2$	
36	$R_{2\%} = 1.01H_s \times \xi_p$	$\xi_p < 1.5$	
	$R_{2\%} = \min\{1.23H_s \times \xi_p^{0.41}; 1.89H_s\}$	$\xi_p \geq 1.5$	
37	$R_{2\%} = 0.96H_s \times \xi_m$	$1 < \xi_m \leq 1.5$	CEM (2011)
	$R_{2\%} = 1.17H_s \times \xi_m^{0.46}$	$\xi_m > 1.5$	
38	$R_s = 0.72H_s \times \xi_m$	$1 < \xi_m \leq 1.5$	
	$R_s = 0.88H_s \times \xi_m^{0.41}$	$\xi_m > 1.5$	
39	$R_{2\%} = 1.6H_s \times \xi_p$	$\xi_p \leq 2.5$	
	$R_{2\%} = (4.5 - 0.2\xi_p) \times H_s$	$\xi_p \geq 2.5$	
40	$R_{2\%} = 1.35H_s \times \xi_p$	$\xi_p \leq 2$	
	$R_{2\%} = (3 - 0.25\xi_p) \times H_s$	$\xi_p \geq 2$	
41	$R_{2\%} = 1.75h \times (1 - e^{-(1.3 \cot \beta)}) \times \left(\frac{M_F}{\rho \times g \times h^2}\right)^{0.5}$	$\frac{H_s}{L_p} < 0.0225$ e $1 \leq \cot \beta \leq 4$	Hughes (2003)
	$R_{2\%} = 1.75h \times (1 + e^{-(0.47 \cot \beta)}) \times \left(\frac{M_F}{\rho \times g \times h^2}\right)^{0.5}$	$\frac{H_s}{L_p} \geq 0.0225$ e $1.5 \leq \cot \beta \leq 4$	
42	d)	$\xi_{p,eq} = \gamma_b \times \xi_p$	De Waal e Van der Meer (1992)
43	e)	$\xi_{p,eq} = \gamma_b \times \xi_p$	
44	$R_s = 0.89H_s$	-	CERC (1995)
45	$R_{5\%} = 1.16H_s$	-	
46	$R_{2\%} = 1.32H_s$	-	
47	$R_{1\%} = 1.43H_s$	-	
48	f)	-	Stockdon <i>et al.</i> (2006)
	$R_{2\%} = 0.043 \times (H_s \times L)^{0.5}$	$\xi < 0.3$	

$$d) \quad R_{2\%} = \min\{1.5H_s \times \gamma_b \times \gamma_h \times \gamma_r \times \gamma_\alpha \times \xi_{p,eq}; 3H_s \times \gamma_b \times \gamma_h \times \gamma_r \times \gamma_\alpha\}$$

$$e) \quad R_{2\%} = \min\{1.6H_s \times \gamma_b \times \gamma_h \times \gamma_r \times \gamma_\alpha \times \xi_{p,eq}; 3.2H_s \times \gamma_b \times \gamma_h \times \gamma_r \times \gamma_\alpha\}$$

$$f) \quad R_{2\%} = 1.1 \times \left(0.35\beta \times (H_s \times L)^{0.5} + \frac{[H_s \times L \times (0.563\beta^2 + 0.004)]^{0.5}}{2}\right)$$

Tabela 3 – Formulações para o cálculo da altura de espraçamento (3)

Nº	Fórmulas	Observações	Método
49	$R_{2\%} = 1.52H_s \times (1 - e^{-0.34\xi})$	-	Allsop <i>et al.</i> (1985)
50	$R_{2\%} = 4H_s \times \xi_p \times (\tan \beta)^{0.3}$	-	De la Peña <i>et al.</i> (2012)
51	$R_{2\%} = 1.68H_s \times \xi_m$	-	Battjes (1974)
52	$R_{m\acute{a}x} = \frac{1.022H_s \times \xi_p}{1 + 0.247\xi_p}$	-	Ahrens e Heimbaugh (1988)
53	$R_{50\%} = 0.498 \times (H_{rms} \times L)^{0.5} \times \tan \beta$	$\tan \beta \geq 0.10$	Nielsen e Hanslow (1991)
	$R_{50\%} = 0.0415 \times (H_{rms} \times L)^{0.5}$	$\tan \beta < 0.10$	
54	$R_m = 0.534 \times (H_{rms} \times L)^{0.5} \times \tan \beta$	$\tan \beta \geq 0.10$	
	$R_m = 0.0445 \times (H_{rms} \times L)^{0.5}$	$\tan \beta < 0.10$	
55	$R_s = 0.852 \times (H_{rms} \times L)^{0.5} \times \tan \beta$	$\tan \beta \geq 0.10$	
	$R_s = 0.071 \times (H_{rms} \times L)^{0.5}$	$\tan \beta < 0.10$	
56	$R_{2\%} = 1.188 \times (H_{rms} \times L)^{0.5} \times \tan \beta$	$\tan \beta \geq 0.10$	
	$R_{2\%} = 0.099 \times (H_{rms} \times L)^{0.5}$	$\tan \beta < 0.10$	
57	$R_{1\%} = 1.29 \times (H_{rms} \times L)^{0.5} \times \tan \beta$	$\tan \beta \geq 0.10$	
	$R_{1\%} = 0.1075 \times (H_{rms} \times L)^{0.5}$	$\tan \beta < 0.10$	
58	$R_{2\%} = 0.5H_s - 0.22$	-	Ruggiero <i>et al.</i> (2001)
59	$R_{2\%} = (0.34 + 1.49\xi_p) \times H_s$	-	Hedges e Mase (2004)
60	$R_{2\%} = 1.35H_s \times \xi_e$	$\xi_e \leq 1.48$	Van Gent (2002)
	$R_{2\%} = H_s \times \left(4 - \frac{2.963}{\xi_e}\right)$	$\xi_e > 1.48$	

Observando as tabelas apresentadas anteriormente (Tabelas 1, 2 e 3), verifica-se que os principais parâmetros intervenientes no cálculo da altura de espraçamento provêm das características da agitação marítima, assim como também das características da fronteira costeira. Para além destes principais parâmetros, é possível observar a presença de outros parâmetros secundários em algumas formulações, nomeadamente coeficientes de redução, que se relacionam com a constituição da estrutura costeira e parâmetros relacionados com a batimetria do terreno e a granulometria da areia. Os parâmetros provenientes das condições da agitação marítima traduzem-se essencialmente na altura de onda, período de onda e comprimento de onda, verificando-se a existência, nas várias formulações, de diferentes tipos de altura de onda, período de onda ou comprimento de onda. Dos diferentes tipos de onda, cerca de 80% das formulações dependem diretamente da altura de onda significativa, 11.7% das formulações dependem da altura de uma onda, considerada isolada, e as restantes 8.3% formulações dependem da raiz quadrada da média das alturas da onda. Perante a existência de diferentes tipos de altura de onda, período de onda e comprimento de onda, foi necessário relacioná-los entre si para permitir uma comparação dos resultados. Sendo a altura de onda significativa geralmente a mais utilizada para se proceder ao cálculo da altura de espraçamento (Eurotop, 2007), relacionou-se altura de onda significativa com a raiz quadrada da média das

alturas da onda. De acordo com Holthuijsen (2007) e também Dean e Dalrymple (1991), essa mesma relação pode ser traduzida pela seguinte expressão (4):

$$H_{rms} = \frac{1}{2} \times \sqrt{2} \times H_s \approx 0.71 H_s \quad (4)$$

Embora várias formulações considerem diferentes tipos de período de onda, de acordo com o que diversos autores referem, o espraio máximo depende quase exclusivamente das ondas com menores frequências, o que leva à utilização do período de onda máximo, em detrimento do período médio, como já tinha sido referido anteriormente. No entanto, a utilização do período de onda máximo não é consensual entre vários autores, como é exemplo Van der Meer e Stam (1992) e Grüne e Wang (2000). Os mesmos autores aconselham a utilização do período de onda médio para o cálculo da altura de espraçamento.

Em seguimento daquilo que foi considerado em Teixeira (2009), para esta dissertação optou-se pela utilização do período de onda máximo para o cálculo da altura de espraçamento. Desta forma, foi necessário relacionar os vários períodos de onda presentes nas formulações com o período de onda máximo, com o intuito de ser possível a comparação entre os resultados obtidos pelas várias formulações para a altura de espraçamento. Em Goda (2008) foi possível encontrar a relação entre o período de onda máximo e o período de onda médio, traduzido pela equação (5). A expressão (6) relaciona o período de onda de pico com o período de onda significativo, sendo a sua relação muito próxima (Eurotop, 2007), uma vez que o período de onda de pico é apenas 5% superior ao período de onda significativo. Ainda segundo o mesmo manual, o período de onda de pico e o período de onda espectral relacionam-se de acordo com a expressão (7). Por fim, segundo Van der Meer e Stam (1992), a relação entre o período de onda de pico e o período de onda médio, expressão (8), localiza-se entre o intervalo de valores 1.10 e 1.20. Neste caso optou-se por escolher o valor médio (1.15), tal como Hughes (2005) realizou.

$$\text{Goda (2008)} \quad T_{m\acute{a}x} = 1.20 T_m \quad (5)$$

$$\text{Goda (1974)} \quad T_p = 1.05 T_s \quad (6)$$

$$\text{Eurotop (2007)} \quad T_p = 1.10 T_e \quad (7)$$

$$\text{Van der Meer e Stam (1992)} \quad T_p = 1.15 T_m \quad (8)$$

Com base nas quatro relações encontradas na bibliografia para os diferentes períodos de onda, procedeu-se à uniformização do cálculo dos períodos para que dependessem apenas do período de onda máximo. Consequentemente chegou-se a outras quatro relações, expressões (9), (10), (11) e (12), uma para cada diferente tipo de período de onda, posteriormente utilizadas no capítulo da análise de sensibilidades e no cálculo que originou as formulações características para o litoral de Aveiro.

$$T_p = 0.96T_{m\acute{a}x} \quad (9)$$

$$T_s = 0.91T_{m\acute{a}x} \quad (10)$$

$$T_e = 0.87T_{m\acute{a}x} \quad (11)$$

$$T_m = 0.83T_{m\acute{a}x} \quad (12)$$

Entre as várias formulações apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3, algumas apresentam parâmetros específicos. Exemplo disso são as formulações nº 3, nº 6 e nº 12, onde a altura de espraçamento depende também da batimetria, de coeficientes de redução ou da granulometria da areia, respetivamente. As formulações nº 9 e nº 41, ambas desenvolvidas por Hughes (2003, 2005), dependem do parâmetro fluxo de impulso de onda, definido da seguinte forma:

$$\left(\frac{M_F}{\rho g h^2} \right)$$

O mesmo autor refere que este parâmetro pode ser calculado através da expressão (13), ficando apenas dependente da altura de onda, período de onda e profundidade na base do talude. Para efeitos de cálculo, recorreu-se à igualdade apresentada na expressão (13), considerando o valor da aceleração da gravidade de 9.8 m/s².

$$\left(\frac{M_F}{\rho g h^2} \right) = 0.639 \times \left(\frac{H}{h} \right)^{2.026} \times \left(\frac{h}{g T^2} \right)^{-\left(0.180 \times \left(\frac{H}{h} \right)^{-0.391} \right)} \quad (13)$$

3.2 Classes das Formulações

Todas as formulações recolhidas são baseadas em análises empíricas em diferentes condições, sendo provenientes de estudos em laboratório ou de trabalho de campo, com base em ondulação do tipo regular e/ou irregular, ou definidas para diferente tipo de fronteiras

costeiras (praias ou estruturas artificiais), calculando diferentes níveis de espraio. Desta forma procedeu-se à devida distinção entre a fronteira costeira utilizada, o tipo de ondulação considerado, a proveniência dos dados que deram origem à formulação e o nível de espraio para o qual é calculada a altura de espraçamento, para cada uma das formulações, resultando nas Tabelas 4 e 5. No entanto, nem sempre foi possível identificar alguns destes campos, devido à impossibilidade de aceder aos documentos onde foi publicada a formulação em análise ou devido ao facto de essa informação nem sempre ser indicada. Para estas situações, optou-se por admitir o campo como “Não Definido” (N/D). De salientar que as formulações nº 35 e nº 36 são as que menos informações apresentam e as formulações nº 12 e nº 59 foram obtidas a partir de dados provenientes de trabalho de campo e laboratorial. Através das Tabelas 4 e 5 verifica-se que existem apenas quatro formulações que consideram o tipo de ondulação regular, sendo duas indicadas para praias naturais e as restantes para estruturas costeiras.

Tabela 4 – Características das formulações (1)

Nº	Fronteira Costeira	Tipo de Ondulação	Dados	Nível de Espraio
1	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	$R_{2\%}$
2	Praia Natural	Regular	Trabalho Laboratorial	R
3	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	$R_{m\acute{a}x}$
4	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	$R_{m\acute{a}x}$
5	Estrutura Costeira	Regular	Trabalho Laboratorial	R
6	Estrutura Costeira	N/D	Trabalho Laboratorial	$R_{2\%}$
7	Estrutura Costeira	Regular	Trabalho de Campo	R
8	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho de Campo	R
9	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	$R_{2\%}$
10	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	$R_{2\%}$
11	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	R_s
12	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo/Laboratorial	$R_{2\%}$
13	Praia Natural	Irregular	Trabalho Laboratorial	$R_{m\acute{a}x}$
14	Praia Natural	Irregular	Trabalho Laboratorial	R_s
15	Praia Natural	Irregular	Trabalho Laboratorial	R_m
16	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	$R_{2\%}$
17	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	$R_{2\%}$
18	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	$R_{2\%}$
19	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	$R_{m\acute{a}x}$
20	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	$R_{m\acute{a}x}$
21	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	$R_{m\acute{a}x}$
22	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	$R_{m\acute{a}x}$
23	Praia Natural	Irregular	Trabalho Laboratorial	$R_{m\acute{a}x}$
24	Praia Natural	Irregular	Trabalho Laboratorial	$R_{2\%}$
25	Praia Natural	Irregular	Trabalho Laboratorial	R_s
26	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	$R_{2\%}$
27	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	$R_{2\%}$
28	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	$R_{0,13\%}$
29	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	$R_{1\%}$

Tabela 5 – Características das formulações (2)

Nº	Fronteira Costeira	Tipo de Ondulação	Dados	Nível de Espraio
30	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	R _{2%}
31	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	R _{5%}
32	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	R _{10%}
33	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	R _s
34	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	R _m
35	Estrutura Costeira	N/D	N/D	R _{2%}
36	Estrutura Costeira	N/D	N/D	R _{2%}
37	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	R _{2%}
38	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	R _s
39	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	R _{2%}
40	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	R _{2%}
41	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	R _{2%}
42	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	R _{2%}
43	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	R _{2%}
44	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	R _s
45	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	R _{5%}
46	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	R _{2%}
47	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	R _{1%}
48	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	R _{2%}
49	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	R _{2%}
50	Praia Natural	Regular	Trabalho Laboratorial	R _{2%}
51	Estrutura Costeira	Irregular	N/D	R _{2%}
52	Estrutura Costeira	Irregular	Trabalho Laboratorial	R _{máx}
53	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	R _{50%}
54	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	R _m
55	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	R _s
56	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	R _{2%}
57	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	R _{1%}
58	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo	R _{2%}
59	Praia Natural	Irregular	Trabalho de Campo/Laboratorial	R _{2%}
60	Estrutura Costeira	Irregular	N/D	R _{2%}

Numa outra perspetiva, optou-se por agrupar as formulações em vários grupos de forma a ser possível uma leitura mais global das várias formulações. Observando a Tabela 6 verifica-se a existência de dois grandes grupos: um grupo das formulações com aplicabilidade nas praias naturais e um outro grupo de formulações com aplicabilidade nas estruturas costeiras. A abreviatura utilizada para identificar cada grupo de formulações relaciona-se com o seu respetivo campo de aplicação, o tipo de ondulação mais indicado, a sua base de formulação e o nível de espraio a ser calculado. Como exemplo, da abreviatura que identifica o primeiro grupo de formulações, PN-R-L-R, depreende-se que as formulações pertencentes a este grupo são indicadas para praias naturais (PN), para um tipo de ondulações regular (R), foram obtidas partindo de dados laboratoriais (L) e calculam o nível de espraio total (R).

Tabela 6 – Grupos de formulações

Fronteira Costeira	Ondulação	Campo/Laboratório	Nível de espraio	Abreviatura
Praia Natural	Regular	Laboratório	R	PN-R-L-R
Praia Natural	Regular	Laboratório	$R_{2\%}$	PN-R-L- $R_{2\%}$
Praia Natural	Irregular	Campo	$R_{m\acute{a}x}$	PN-I-C- $R_{m\acute{a}x}$
Praia Natural	Irregular	Campo	R_m	PN-I-C- R_m
Praia Natural	Irregular	Campo	$R_{50\%}$	PN-I-C- $R_{50\%}$
Praia Natural	Irregular	Campo	R_s	PN-I-C- R_s
Praia Natural	Irregular	Campo	$R_{5\%}$	PN-I-C- $R_{5\%}$
Praia Natural	Irregular	Campo	$R_{2\%}$	PN-I-C- $R_{2\%}$
Praia Natural	Irregular	Campo	$R_{1\%}$	PN-I-C- $R_{1\%}$
Praia Natural	Irregular	Laboratório	$R_{m\acute{a}x}$	PN-I-L- $R_{m\acute{a}x}$
Praia Natural	Irregular	Laboratório	R_m	PN-I-L- R_m
Praia Natural	Irregular	Laboratório	R_s	PN-I-L- R_s
Praia Natural	Irregular	Laboratório	$R_{2\%}$	PN-I-L- $R_{2\%}$
Praia Natural	Irregular	Campo e Laboratório	$R_{2\%}$	PN-I-C/L- $R_{2\%}$
Estrutura Costeira	Regular	Campo	R	EC-R-C-R
Estrutura Costeira	Regular	Laboratório	R	EC-R-L-R
Estrutura Costeira	Irregular	Campo	R	EC-I-C-R
Estrutura Costeira	Irregular	Laboratório	$R_{m\acute{a}x}$	EC-I-L- $R_{m\acute{a}x}$
Estrutura Costeira	Irregular	Laboratório	R_m	EC-I-L- R_m
Estrutura Costeira	Irregular	Laboratório	R_s	EC-I-L- R_s
Estrutura Costeira	Irregular	Laboratório	$R_{10\%}$	EC-I-L- $R_{10\%}$
Estrutura Costeira	Irregular	Laboratório	$R_{5\%}$	EC-I-L- $R_{5\%}$
Estrutura Costeira	Irregular	Laboratório	$R_{2\%}$	EC-I-L- $R_{2\%}$
Estrutura Costeira	Irregular	Laboratório	$R_{1\%}$	EC-I-L- $R_{1\%}$
Estrutura Costeira	Irregular	Laboratório	$R_{0.13\%}$	EC-I-L- $R_{0.13\%}$
Estrutura Costeira	Irregular	N/D	$R_{2\%}$	EC-I-N/D- $R_{2\%}$
Estrutura Costeira	N/D	Laboratório	$R_{2\%}$	EC-N/D-L- $R_{2\%}$
Estrutura Costeira	N/D	N/D	$R_{2\%}$	EC-N/D-N/D- $R_{2\%}$

De forma a complementar a informação disponibilizada na tabela anterior (Tabela 6), optou-se por elaborar o organograma presente na Figura 5. O mesmo organograma, para além de apresentar os vários grupos de formulações, contabiliza as formulações que cada grupo contém. As várias tabelas com as formulações de cada grupo foram remetidas para anexo (Tabela A.I 1 até Tabela A.I 28), assim como os respetivos gráficos (Figura A.I 1 até Figura A.I 28), onde são apresentados os resultados das formulações para diferentes inclinações do talude das praias e/ou estruturas artificiais, evidenciando o nível de espraio para diferentes alturas de onda.

A Figura 5 demonstra a grande diversidade de formulações, evidenciando a complexidade do relacionamento entre as mesmas, acima de tudo devido ao tipo de fronteira costeira e nível de espraio calculado.

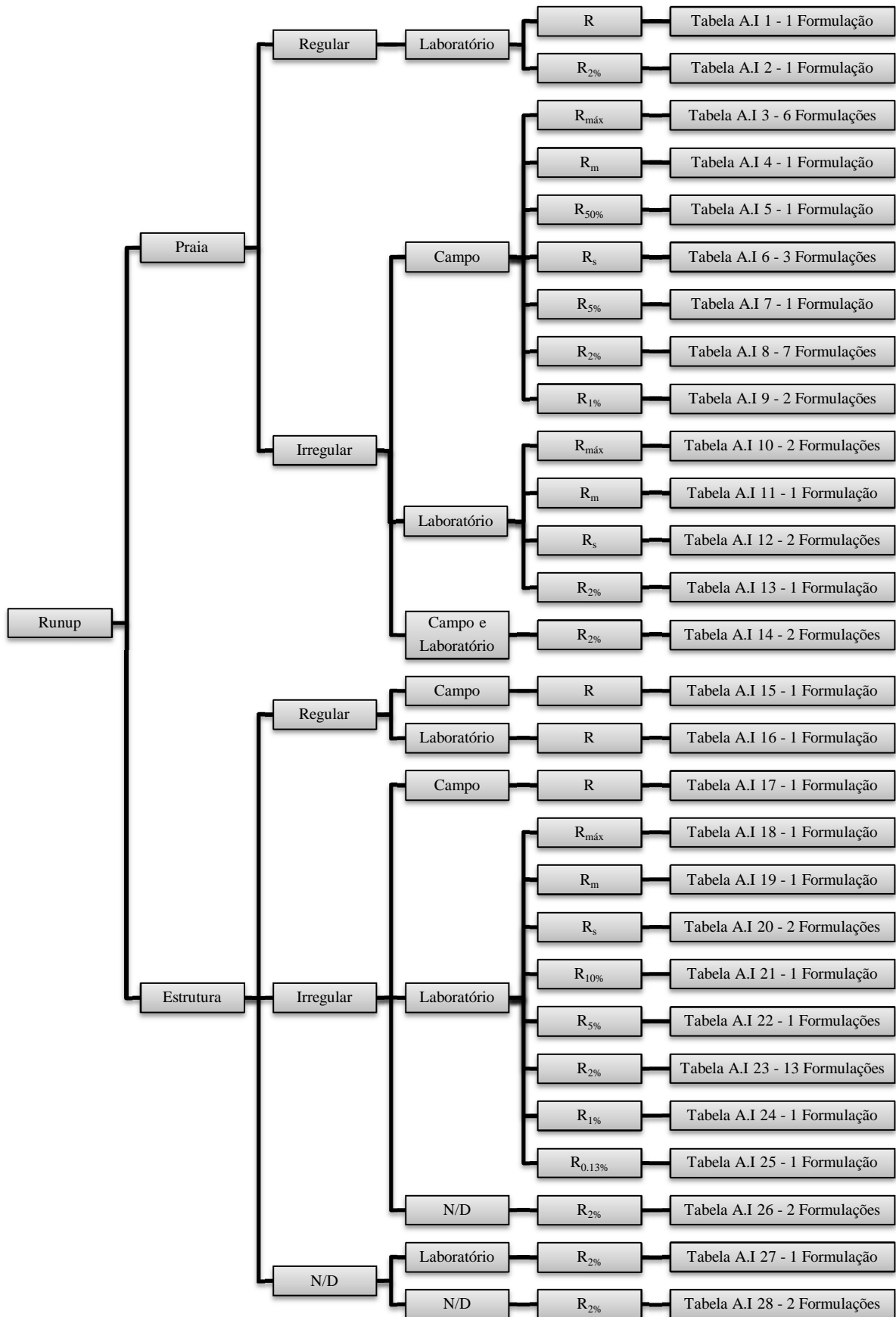


Figura 5 – Categoria das formulações, de acordo com vários critérios de classificação

Capítulo 4

ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

4 ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

O cálculo da altura de espraçamento para ambientes naturais ou artificializados é, como já referido, baseado em formulações empíricas, dependendo essencialmente do clima de agitação marítima e do declive da fronteira costeira, quer seja praia natural ou estrutura costeira. Para se proceder a uma escolha de formulações que melhor se adequem à realidade do litoral Aveirense, é essencial a compreensão da influência dos diferentes parâmetros envolvidos, no cálculo da altura de espraçamento. Desta forma, no presente capítulo, pretende-se realizar um estudo de sensibilidade, que tem como principal objetivo, perceber qual a influência da variação de cada um dos parâmetros intervenientes no cálculo do valor final da altura de espraçamento.

Uma vez que a altura de onda é um parâmetro comum em todas as formulações recolhidas, à exceção da formulação nº 22, para uma melhor compreensão da sua influência, nas análises realizadas considera-se sempre a altura de espraçamento a variar em função da altura de onda, considerando-se um intervalo entre 0.20 m e 6.00 m. Foram testados períodos de onda entre os valores de 7 s e 12 s. A Tabela 7 mostra os valores de período de onda analisados e respetivos valores de comprimentos de onda, calculados através da equação (2).

Tabela 7 – Período de onda e respetivos valores do comprimento de onda

T [s]	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
L [m]	76.43	99.82	126.34	155.97	188.73	224.60

De acordo com a diversidade morfológica presente nas fronteiras naturais e artificiais foram também analisados diferentes valores para o declive da praia e granulometria dos sedimentos que a constituem. Para as formulações aplicáveis em praias naturais, foram testados valores de declive de 2.0%, 4.0%, 6.0%, 8.0% e 10.0%. No caso das formulações indicadas para estruturas costeiras, foram testados valores de declive de 35.0%, 47.0%, 59.0%, 71.0% e 83.0%. No entanto, para este tipo de fronteira, verificou-se que nem todas as formulações eram válidas para o intervalo de declives considerados, como é o caso das formulações nº 1 e nº 9, uma vez que o valor do declive aplicável nas respetivas formulações era condicionado. Para estas duas formulações, considerou-se o intervalo de declives de 10.0%, 14.0%, 18.0%, 22.0% e 26.0% e o intervalo de declives de 25.0%, 30.0%, 35.0%, 40.0% e 45.0%, respetivamente.

A granulometria dos sedimentos das praias também foi alvo de análise. Este parâmetro apenas é considerado na formulação nº 12, uma vez que esta foi a única formulação recolhida,

em que a altura de espraçamento dependia diretamente da dimensão dos sedimentos. Foram testados valores para a dimensão média do sedimento entre 0.2 mm e 7.2 mm.

No caso das formulações indicadas para estruturas costeiras, verificou-se a existência de diversos coeficientes de redução. A análise da sua influência individual e simultânea na altura de espraçamento foi também testada.

De seguida avalia-se a estrutura das diferentes formulações. Posteriormente realizou-se, para cada um dos dois tipos diferentes de fronteira costeira, uma análise de acordo com o tipo de ondulação, uma análise comparativa entre formulações baseadas em trabalho de campo e formulações laboratoriais e uma análise ao nível de espraio. Por fim, de forma individual, estudou-se a sensibilidade considerando a influência da batimetria, analisou-se a sensibilidade à granulometria dos sedimentos em praias naturais, analisou-se o comportamento das formulações à influência dos coeficientes de redução, assim como também se avaliou o comportamento de algumas formulações com declive condicionado.

4.1 Estrutura das Formulações

Inicialmente, para se tentar perceber o comportamento das diversas formulações presentes nas Tabelas 1, 2 e 3, identificaram-se alguns tipos de formulações, de acordo com a sua estrutura. Como referido, segundo Teixeira (2009), as diversas formulações que permitem o cálculo da altura de espraçamento das ondas podem ser divididas em dois grupos, dependendo da complexidade das formulações e das variáveis necessárias para a sua resolução.

Um primeiro grupo de formulações, mais simples, relaciona diretamente a altura do espraçamento com a altura da ondulação incidente, correspondendo a expressões do tipo da equação (14). Neste grupo, o comportamento da altura de espraçamento é linear, sendo diretamente proporcional à altura de onda. A altura de espraçamento será tanto maior quanto maior for a altura de onda.

$$R = c \times H \quad (14)$$

A Figura 6 apresenta o gráfico de um exemplo de uma formulação do tipo da equação (14).

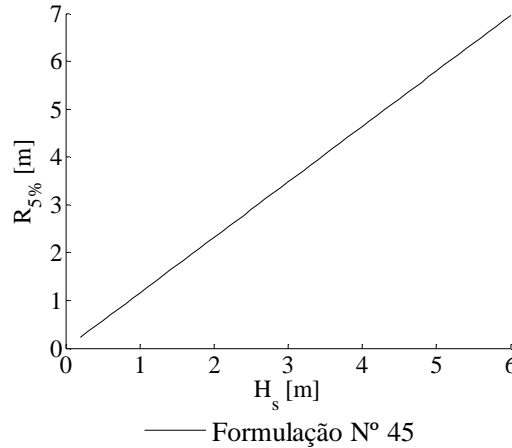


Figura 6 – Aspeto gráfico das formulações do tipo da equação (14)

O segundo grupo de formulações, do tipo da equação (15), apresenta formulações mais complexas que, para além da altura da ondulação, consideram através do número de Iribarren outros parâmetros escalares da ondulação e o declive da estrutura natural ou artificial onde as ondas incidem.

$$R = c \times H \times \xi \quad (15)$$

Para as formulações do tipo da equação (15), o comportamento será não-linear, uma vez que para além da altura de onda, a altura de espraioamento depende do número de Iribarren. Assim, na Figura 7 verifica-se que a altura de espraioamento será tanto maior quanto mais elevado for o valor da altura de onda, do comprimento de onda e do declive da fronteira terrestre.

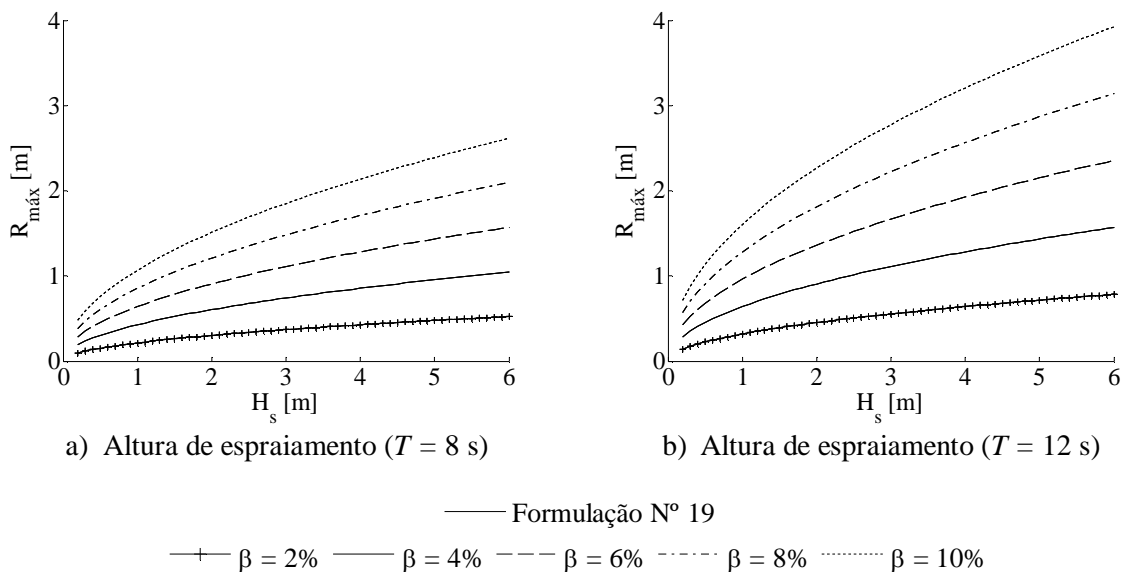


Figura 7 – Aspeto gráfico das formulações do tipo da equação (15)

No estudo realizado por De la Peña *et al.* (2012), os autores também consideraram dois grupos distintos de formulações. Identificaram formulações do tipo da equação (15), e um outro grupo de formulações do tipo da equação (16), referindo ainda que estes dois diferentes tipos de formulações se podiam relacionar entre si.

$$R = c \times (H \times L)^{0.5} \quad (16)$$

À semelhança do que foi observado atrás, as formulações do tipo da equação (16) apresentam também um comportamento não linear, e a altura de espraçamento aumenta em função da altura de onda e do período de onda. Na Figura 8 está representada a formulação nº 56 para declives inferiores a 10%, onde o cálculo da altura de espraçamento é realizado através de uma expressão do tipo (16), onde não se faz sentir a influência direta do declive.

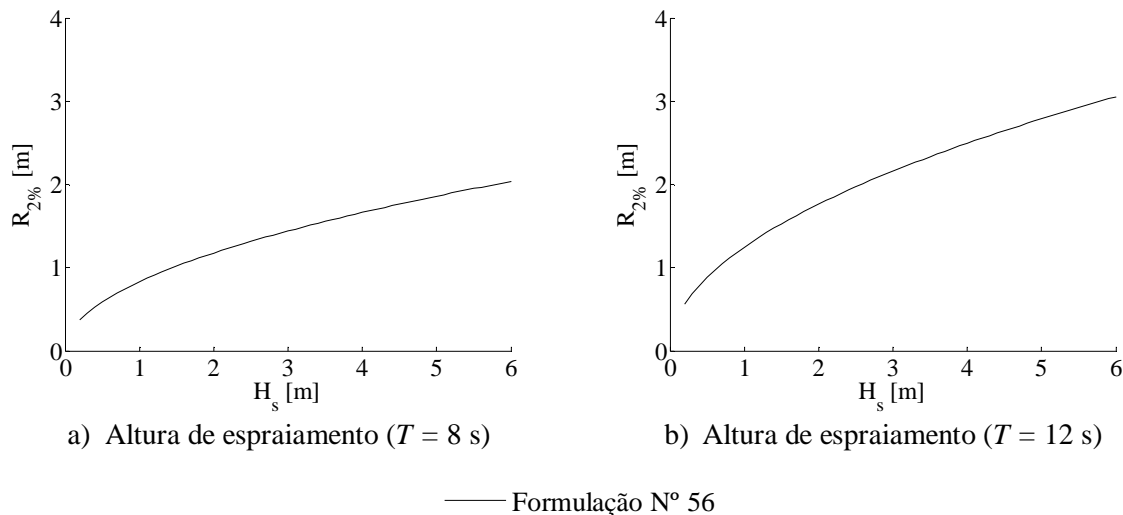


Figura 8 – Aspeto gráfico das formulações do tipo da equação (16)

Para o caso em que o declive seja de valor igual ou superior a 10.0% corresponde uma tangente igual ou maior a 0.1. Neste caso, o cálculo da altura de espraçamento pela formulação nº 56 realiza-se através de uma expressão diferente, do tipo (17), cujo respetivo gráfico está representado na Figura 9. Uma vez mais verifica-se o comportamento não linear, assim como também o aumento da altura de espraçamento em função da altura de onda e do período de onda.

$$R = c \times (H \times L)^{0.5} \times \tan(\beta) \quad (17)$$

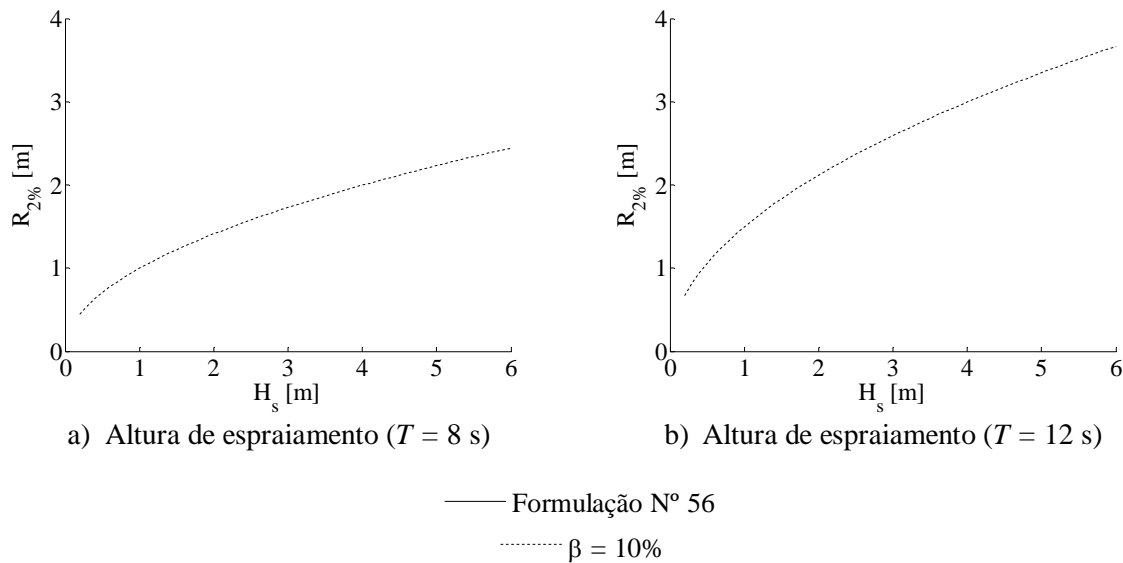


Figura 9 – Aspeto gráfico das formulações do tipo da equação (17)

Para além do tipo de equações já identificados, é possível encontrar outros tipos de equação para calcular a altura de espraçamento. As expressões variam na sua estrutura, mas apresentam uma homogeneidade de parâmetros, sendo a altura de onda, o comprimento de onda, o período de onda e o declive da fronteira natural ou artificial os parâmetros mais utilizados no cálculo da altura de espraçamento. A elevada recorrência dos mesmos parâmetros na estrutura das formulações, leva a que as mesmas apresentem um comportamento muito semelhante. Nas formulações cuja estrutura apenas apresenta parâmetros como a altura de onda e/ou a inclinação do talude, observou-se um comportamento linear (Figura 6). A altura de espraçamento calculada através deste tipo de formulações apresenta um crescimento mais acentuado, à medida que aumenta a altura de onda, em comparação com as formulações onde a influência do período de onda se faz sentir.

As formulações que variam em função do período de onda apresentam sempre um comportamento não-linear, com gráficos semelhantes aos representados nas Figuras 7, 8 e 9. Normalmente, neste tipo de formulações, a influência do período de onda faz-se sentir através do comprimento de onda.

4.2 Fronteira Costeira

Inicialmente e de acordo com o organograma da Figura 5, para além da separação das formulações de acordo com o tipo de fronteira costeira, o tipo de ondulação e a proveniência da formulação, foi também realizada uma distinção de acordo com o nível de espraio calculado por cada uma das formulações (máximo, significativo e excedido por 2% das ondas). Para cada tipo de fronteira costeira foram identificados os níveis de espraçamento com

maior número de formulações e representados graficamente os resultados de cada uma das formulações para diferentes valores de altura de onda, período de onda e declive. Para o período de onda, foram traçados os gráficos para os valores de 8 s e 12 s, para os dois tipos de fronteira costeira, natural ou artificial. Para praias naturais, os valores de declive representados graficamente foram 2.0%, 6.0% e 10.0% e para estruturas costeiras consideraram-se os valores de 35.0%, 59.0% e 83.0%. As Figura 10 e Figura 11 reúnem os resultados das várias formulações correspondentes aos níveis de espraio mais representados, para praias naturais, para um período de onda de 8 s e 12 s, respetivamente.

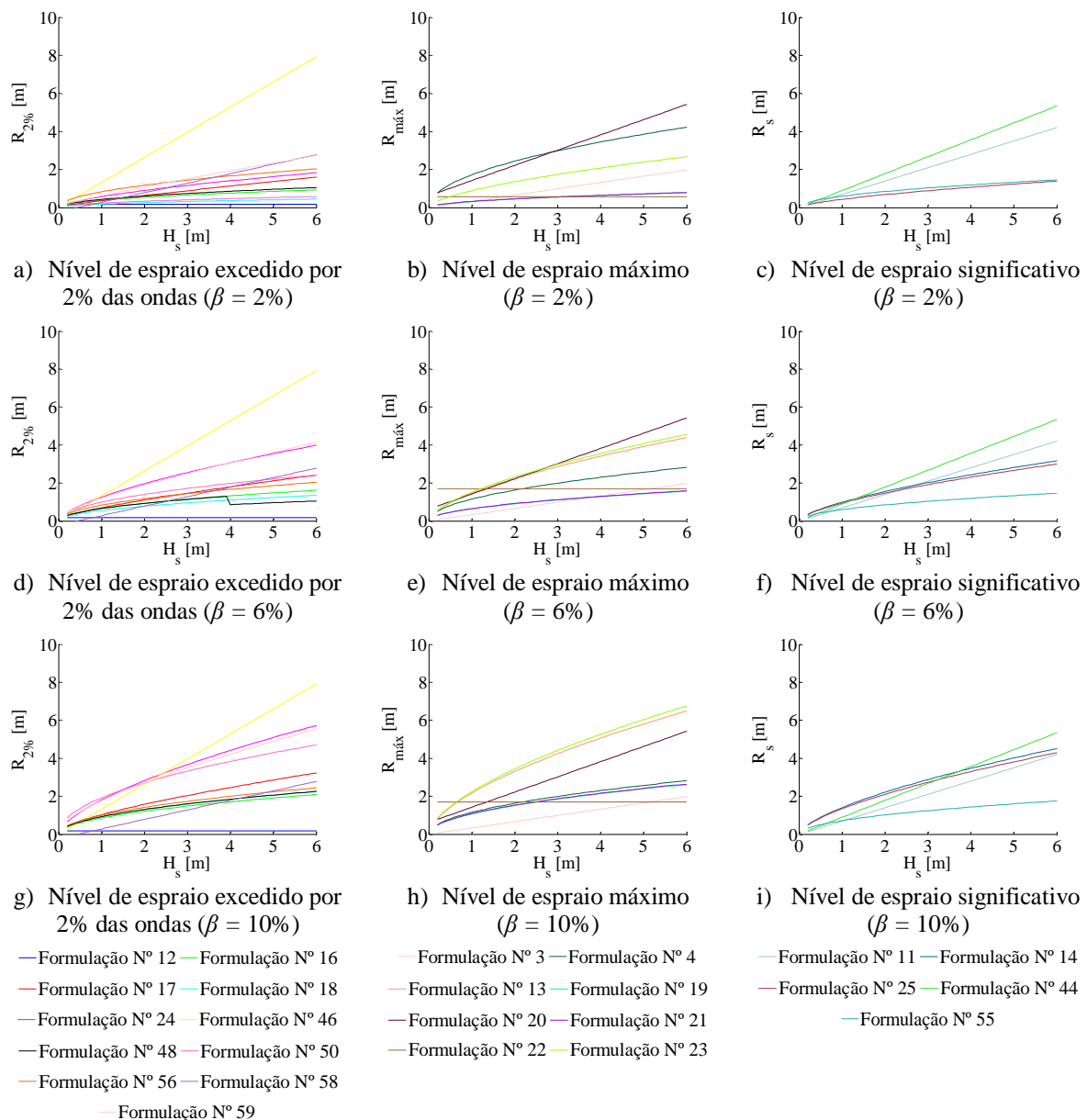


Figura 10 – Altura de espraio para praias naturais ($T = 8$ s)

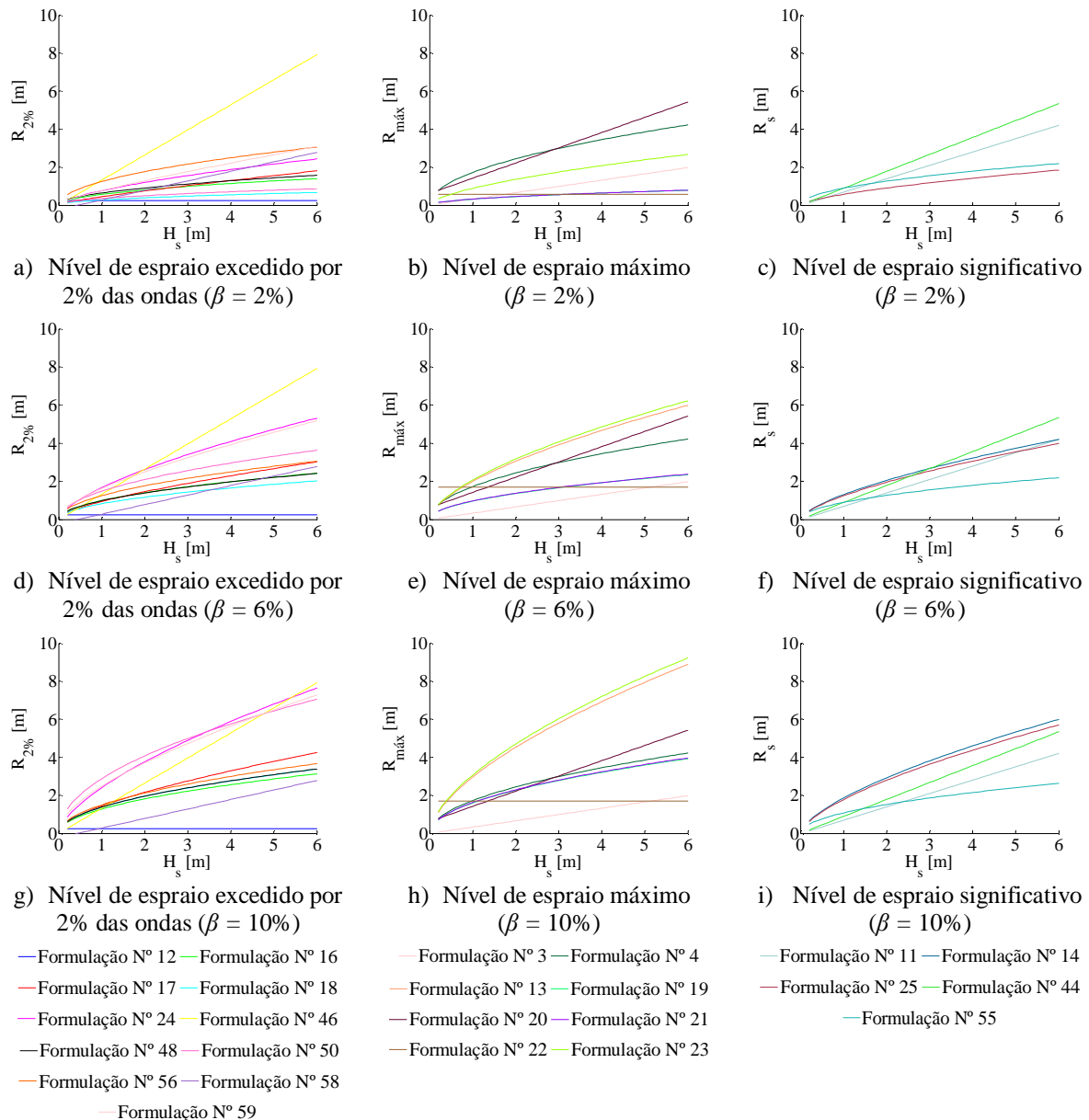


Figura 11 – Altura de espraio para praias naturais ($T = 12$ s)

Como se pode verificar, as formulações nº 13 e nº 14 não estão representadas nas Figuras 10b e 11b e nas Figuras 10c e 11c, respetivamente, já que são apenas aplicáveis no intervalo de declive entre 3.3% e 20.0% (Tabela 1). Para se proceder ao cálculo das formulações nº 3 e nº 12, considerou-se uma distância à linha batimétrica -15 m de 2.5 km, uma dimensão média do sedimento na zona de espraio (d_{sw}) de 0.5 mm e na zona de rebentação (d_{sr}) de 1.0 mm. Estas duas formulações são independentes do valor considerado para o declive. No caso da formulação nº 3 há um aumento da altura de espraio em função do aumento da altura de onda, independentemente do valor considerado para o período de onda. Na formulação nº 12, a altura de espraio não apresenta variação em função da

altura de onda, mas varia de acordo com o valor do período de onda. Este caso particular será analisado com mais detalhe na secção 4.7.

Os resultados das várias formulações correspondentes aos níveis de espraio mais representados para estruturas costeiras encontram-se nas Figuras 12 e 13, correspondendo a um período de onda de 8 s e 12 s, respetivamente. Note-se que os níveis de espraio mais representados pelas formulações são agora o nível de espraio excedido por 2% das ondas, o espraio total e o espraio significativo.

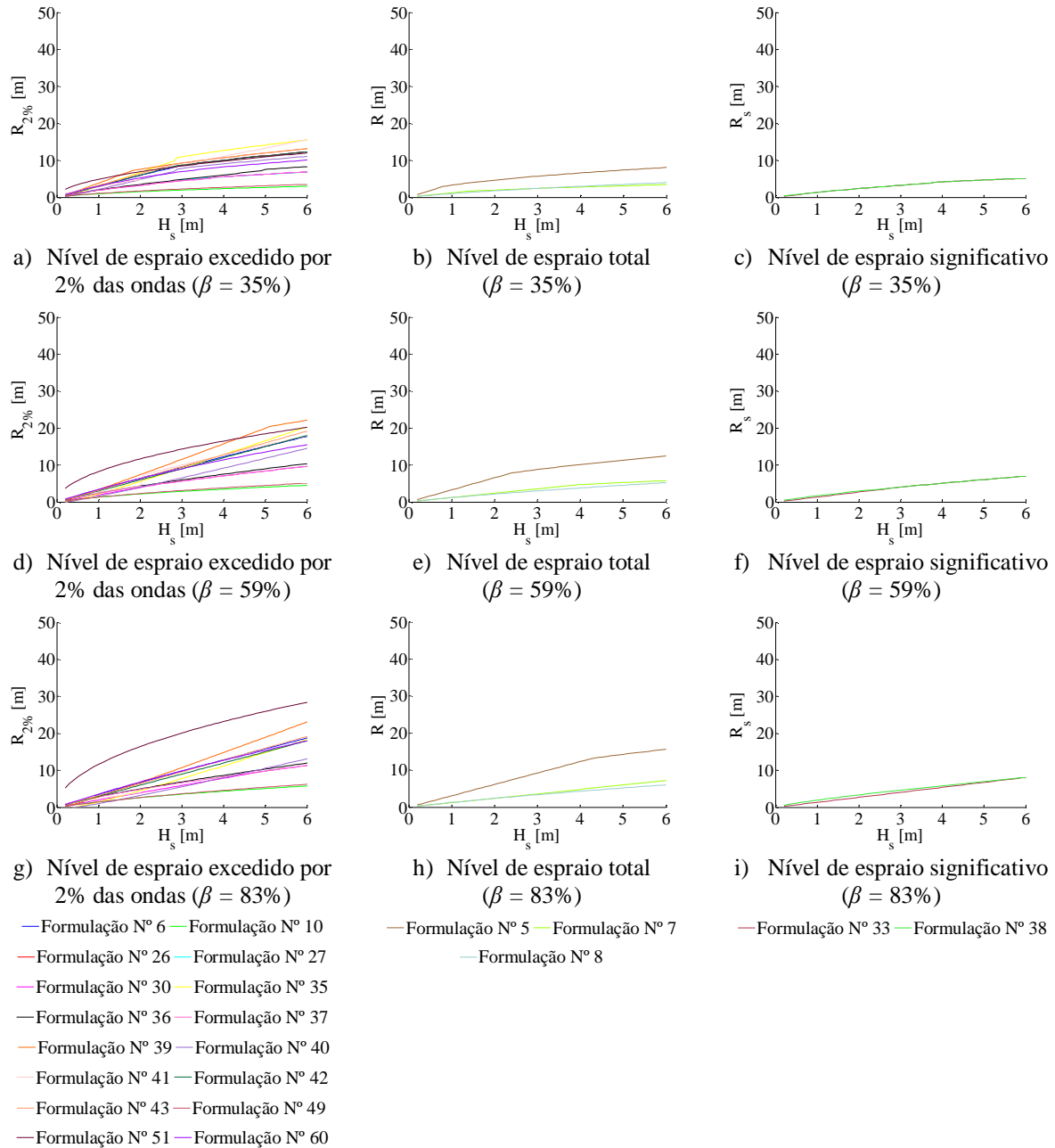


Figura 12 – Altura de espraio para estruturas costeiras ($T = 8$ s)

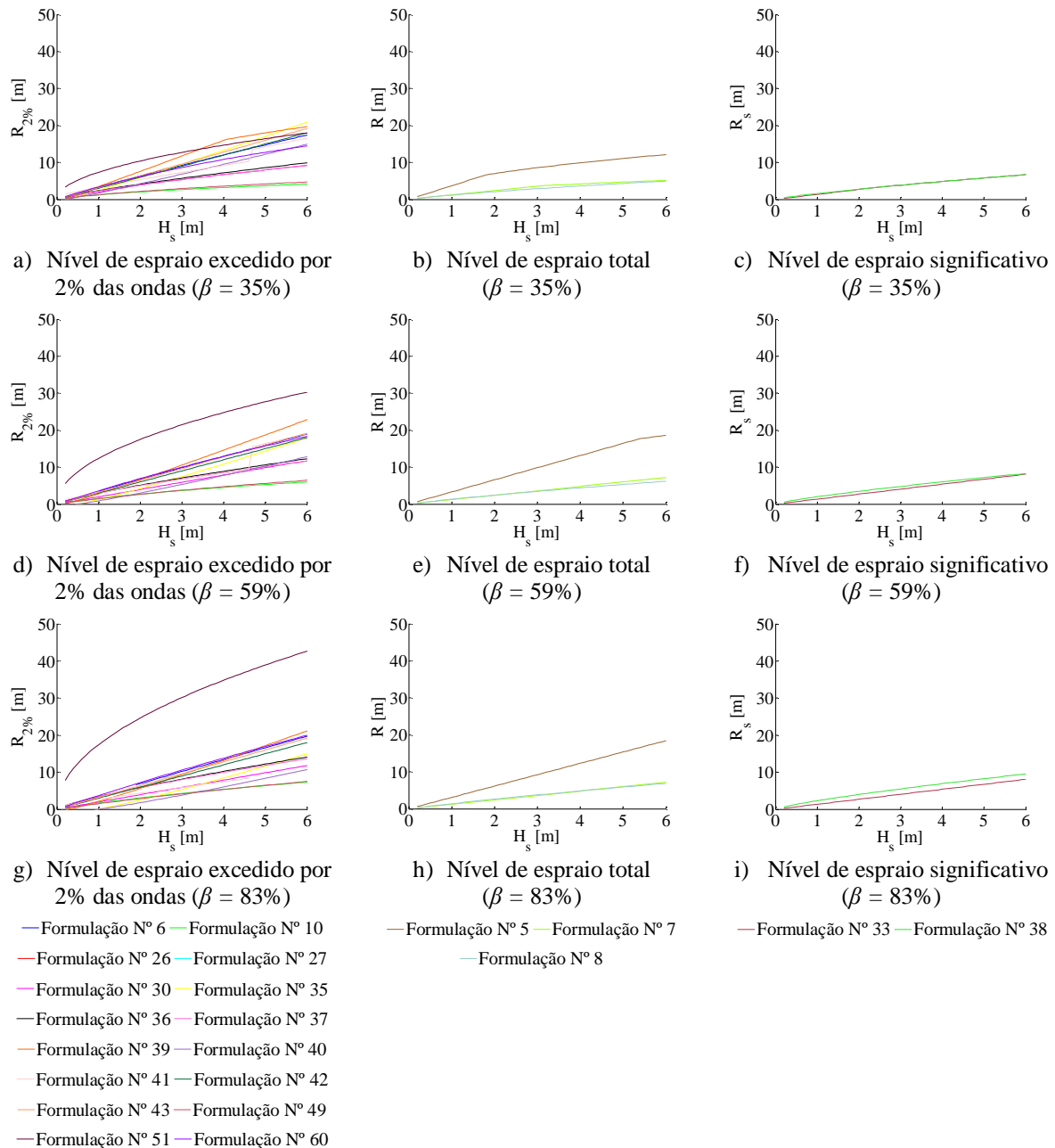


Figura 13 – Altura de espraçamento para estruturas costeiras ($T = 12$ s)

Algumas formulações representadas na Figura 12 e na Figura 13 apresentam uma variação de comportamento mais abrupta, que ocorre devido ao facto de o cálculo da altura de espraçamento recorrer a diferentes expressões (Tabela 1) dentro da mesma formulação, em função das condições impostas para cada formulação. São exemplo disso, as formulações nº 5, nº 33, nº 35, nº 39, nº 40 e nº 41. As formulações nº 26 e nº 27, não estão representadas graficamente para a situação de um período de onda de 8 s e declive de 59.0% e 83.0%, e para um período de onda de 12 s, uma vez que para a sua aplicação o número de Iribarren tem de se encontrar compreendido entre 0.5 e 2.0 (Tabela 1).

4.3 Tipo de Ondulação

Segundo Pinto e Neves (2003), o facto de se considerar a agitação marítima como regular constitui a mais simples abordagem da agitação, pressupondo que esta é puramente bidimensional e de pequena amplitude. São ondas facilmente geradas em laboratório, de forma sinusoidal, com altura, período e direção constantes. Considerando a análise da agitação como irregular procura-se aproximar das reais características aleatórias tridimensionais da agitação, considerando, a superfície livre como um conjunto de ondas de características aleatórias. Parâmetros como a altura da onda, o período ou a direção são considerados como grandezas estatísticas, uma vez que a superfície livre do mar é composta por ondas de diferentes alturas e períodos, movendo-se nas mais variadas direções.

A organização das formulações no organograma presente na Figura 5 levou à diferenciação entre o tipo de ondulação regular e irregular das várias formulações. Esta distinção das formulações foi estudada, registando-se no entanto a escassez de formulações do tipo de ondulação regular. Das sessenta formulações recolhidas, apenas quatro calculam a altura de espraçamento para uma ondulação do tipo regular.

Das trinta e uma formulações indicadas para fronteira natural, apenas duas formulações (formulações nº 2 e nº 50) consideram o tipo de ondulação regular e as restantes o tipo de ondulação irregular. Das formulações que consideram o tipo de ondulação regular, a formulação nº 2 calcula o nível de espraio total e a formulação nº 50 calcula o nível de espraio excedido por 2% das ondas. Das formulações que consideram o tipo de ondulação irregular, nenhuma formulação calcula o nível de espraio total e nove formulações calculam o nível de espraio excedido por 2% das ondas. Perante este facto, a análise comparativa dos dois diferentes tipos de ondulação só foi possível para o nível de espraio excedido por 2% das ondas. A Tabela 8 traduz os diferentes valores da altura de espraçamento, para diferentes tipos de ondulação.

Pode-se verificar que a altura de espraçamento calculada através da única formulação para a situação de ondulação regular, apenas é inferior aos valores médios calculados através das formulações para um tipo de ondulação irregular quando o declive é igual a 2%, verificando-se o inverso para um declive igual a 10%.

Tabela 8 – Altura de espraçamento (m) para diferente tipo de ondulação, para praias naturais

Formulações		$H_s = 2 \text{ m}$				$H_s = 6 \text{ m}$			
		$\beta = 2\%$		$\beta = 10\%$		$\beta = 2\%$		$\beta = 10\%$	
		T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s
Regular	F50	0.33	0.50	2.71	4.07	0.58	0.87	4.70	7.05
	F12	0.17	0.25	0.17	0.25	0.17	0.25	0.17	0.25
	F16	0.54	0.81	1.21	1.81	0.93	1.40	2.09	3.13
	F17	0.63	0.75	1.57	2.16	1.61	1.81	3.23	4.25
	F18	0.26	0.39	1.30	1.95	0.45	0.68	2.25	3.38
Irregular	F24	0.90	1.20	2.82	3.76	1.83	2.44	5.73	7.64
	F46	2.64	2.64	2.64	2.64	7.92	7.92	7.92	7.92
	F48	0.61	0.91	1.30	1.95	1.05	1.58	2.26	3.39
	F56	1.18	1.76	1.41	2.12	2.04	3.06	2.44	3.67
	F58	0.78	0.78	0.78	0.78	2.78	2.78	2.78	2.78
	F59	1.08	1.29	2.70	3.71	2.74	3.09	5.53	7.28
	Média	0.88	1.08	1.59	2.11	2.15	2.50	3.44	4.37

Para a situação das estruturas costeiras, foram identificadas duas formulações (formulações nº 5 e nº 7) baseadas em ondulação do tipo regular. As duas formulações calculam o nível de espraio total, sendo comparáveis com a formulação nº 8. Comparando as três formulações, verifica-se que os valores da altura de espraçamento calculados através da formulação nº 5 correspondem, aos valores máximos da altura de espraçamento, enquanto os valores da altura de espraçamento dados pela formulação nº 8 correspondem, na maioria das vezes, a valores mínimos da altura de espraçamento (Tabela 9). Observam-se valores da altura de espraçamento maiores, para o caso da ondulação do tipo regular, em relação à ondulação do tipo irregular, para diferentes alturas e períodos de onda e declive.

Tabela 9 – Altura de espraçamento (m) para diferente tipo de ondulação, para estruturas costeiras

Formulações		$H_s = 2 \text{ m}$				$H_s = 6 \text{ m}$			
		$\beta = 35\%$		$\beta = 83\%$		$\beta = 35\%$		$\beta = 83\%$	
		T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s
Regular	F5	4.67	7.00	6.15	6.15	8.08	12.13	15.63	18.46
	F7	1.98	2.40	2.40	2.40	3.43	5.14	7.20	7.20
	Média	3.32	4.70	4.28	4.28	5.76	8.63	11.42	12.83
Irregular	F8	1.77	2.08	2.39	2.61	4.00	4.96	6.03	6.89

Por um lado, os valores da altura de espraçamento calculados através das formulações indicadas para praias naturais com base em ondulação do tipo regular, apenas superam os valores da altura de espraçamento calculados com base em ondulação do tipo irregular, para um declive igual a 10%. Por outro lado, para o caso das formulações indicadas para estruturas costeiras, o valor médio da altura de espraçamento calculado através de formulações baseadas

em ondulação do tipo regular, é sempre superior aos valores calculados através da formulação nº 8, independentemente do valor da altura de onda, período de onda ou declive. Os resultados aparentam revelar que as formulações baseadas em ondulação do tipo regular, fornecem valores mais elevados para a altura de espraçamento, mas este facto diverge daquilo que Teixeira (2009) menciona no seu documento. O autor refere que o valor do coeficiente nas formulações é menor em regimes de agitação regular, logo provocam menores alturas de espraçamento. A irregularidade da agitação marítima tende a favorecer o desenvolvimento de espectro mais largo, com incremento de ondas com maior período, que geram maiores alturas de espraçamento.

4.4 Proveniência do Estudo

De acordo com o organograma da Figura 5, para praias naturais existem vinte e uma formulações provenientes de trabalho de campo, oito formulações provenientes de estudos laboratoriais e duas formulações provenientes simultaneamente de trabalho de campo e estudos laboratoriais. No caso das estruturas costeiras existem vinte e três formulações provenientes de estudos laboratoriais, quatro formulações cuja proveniência se desconhece ou não foi possível apurar e duas formulações provenientes de trabalho de campo.

Para o caso das praias naturais, as formulações nº 24 e nº 50, as formulações nº 13 e nº 23 e as formulações nº 14 e nº 25, correspondem ao nível de espraio excedido por 2% das ondas, ao nível de espraio máximo e ao nível de espraio significativo, respetivamente. Estas formulações têm proveniência laboratorial e apresentam, no geral, valores médios para a altura de espraçamento superiores aos valores obtidos através das formulações provenientes de trabalho de campo (ver Figuras 10 e 11).

Observando a Tabela 10, os valores médios da altura de espraçamento calculados através de formulações de proveniência laboratorial para o nível de espraio excedido por 2% das ondas e para o nível de espraio significativo, só superam os valores médios da altura de espraçamento calculados através de formulações provenientes de trabalho de campo, quando o declive é igual a 10%. Para o nível de espraio máximo, apenas por uma ocasião o valor médio da altura de espraçamento calculado através de formulações de proveniência laboratorial é inferior ao valor médio da altura de espraçamento calculado através de formulações provenientes de trabalho de campo, registando-se valores médios muito próximos sempre que o declive é igual a 2%. Este facto deve-se essencialmente à dependência do declive por parte de todas as formulações de proveniência laboratorial, o que resulta em valores baixos para a altura de espraçamento sempre que o valor do declive é reduzido. Por outro lado, para estes

três níveis de espraio, algumas formulações provenientes de trabalho de campo apresentam apenas dependência em relação à altura de onda (formulações nº 46, nº 58, nº 20 e nº 44), o que produz valores de altura de espraçamento elevados, mesmo para um declive e período de onda reduzido.

Tabela 10 – Altura de espraçamento (m) para diferente proveniência do estudo e para praias naturais

Formulações			$H_s = 2 \text{ m}$				$H_s = 6 \text{ m}$			
			$\beta = 2\%$		$\beta = 10\%$		$\beta = 2\%$		$\beta = 10\%$	
			T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s
$R_{2\%}$	C	F16	0.54	0.81	1.21	1.81	0.93	1.40	2.09	3.13
		F17	0.63	0.75	1.57	2.16	1.61	1.81	3.23	4.25
		F18	0.26	0.39	1.30	1.95	0.45	0.68	2.25	3.38
		F46	2.64	2.64	2.64	2.64	7.92	7.92	7.92	7.92
		F48	0.61	0.91	1.30	1.95	1.05	1.58	2.26	3.39
		F56	1.18	1.76	1.41	2.12	2.04	3.06	2.44	3.67
		F58	0.78	0.78	0.78	0.78	2.78	2.78	2.78	2.78
		Média	0.95	1.15	1.46	1.92	2.40	2.75	3.28	4.07
	L	F24	0.90	1.20	2.82	3.76	1.83	2.44	5.73	7.64
		F50	0.33	0.50	2.71	4.07	0.58	0.87	4.70	7.05
		Média	0.62	0.85	2.77	3.92	1.20	1.65	5.22	7.35
	C/L	F12	0.17	0.25	0.17	0.25	0.17	0.25	0.17	0.25
		F59	1.08	1.29	2.70	3.71	2.74	3.09	5.53	7.28
		Média	0.63	0.77	1.43	1.98	1.45	1.67	2.85	3.77
$R_{\text{máx}}$	C	F3	0.66	0.66	0.66	0.66	1.98	1.98	1.98	1.98
		F4	1.62	2.44	1.62	2.44	2.81	4.22	2.81	4.22
		F19	0.30	0.45	1.51	2.27	0.52	0.79	2.62	3.93
		F20	2.22	2.22	2.22	2.22	5.42	5.42	5.42	5.42
		F21	0.31	0.46	1.53	2.29	0.53	0.79	2.64	3.96
		F22	0.57	0.57	2.84	2.84	0.57	0.57	2.84	2.84
		Média	0.95	1.13	1.73	2.12	1.97	2.29	3.05	3.73
	L	F13	-	-	3.31	4.52	-	-	6.50	8.88
		F23	1.00	1.36	3.44	4.70	1.96	2.67	6.75	9.23
		Média	1.00	1.36	3.37	4.61	1.96	2.67	6.62	9.05
R_s	C	F11	1.40	1.40	1.40	1.40	4.20	4.20	4.20	4.20
		F44	1.78	1.78	1.78	1.78	5.34	5.34	5.34	5.34
		F55	0.84	1.27	1.01	1.52	1.46	2.19	1.75	2.63
		Média	1.34	1.48	1.40	1.57	3.67	3.91	3.76	4.06
	L	F14	-	-	2.21	2.93	-	-	4.52	5.99
		F25	0.68	0.90	2.10	2.79	1.39	1.85	4.29	5.70
		Média	0.68	0.90	2.15	2.86	1.39	1.85	4.40	5.84

Para o nível de espraio excedido por 2% das ondas, para além das formulações de proveniência laboratorial e de trabalho de campo, foram identificadas duas outras formulações

que tiveram como base de estudo, resultados obtidos tanto em laboratório como através de dados recolhidos no campo. Os valores médios da altura de espraçamento calculados através destas formulações aproximam-se dos valores médios da altura de espraçamento calculados através de formulações laboratoriais para um declive igual a 2% e aproximam-se dos valores médios da altura de espraçamento calculados através de formulações de campo para um declive igual a 10%. Como referido anteriormente, as formulações nº 13 e nº 14 não são aplicáveis para declives de 2%.

No caso das estruturas costeiras, para o nível de espraio excedido por 2% das ondas existem catorze formulações provenientes de estudos laboratoriais e quatro formulações cuja proveniência se desconhece. Para este nível de espraio, a ausência de qualquer formulação proveniente de trabalho de campo impede a realização de uma análise comparativa entre estes dois tipos de proveniência. Para o nível de espraio significativo verifica-se exatamente a mesma situação, sendo as duas únicas formulações provenientes de trabalho laboratorial. O nível de espraio total é o único nível de espraio onde se verifica a existência de formulações provenientes de trabalho de campo. As formulações nº 7 e nº 8 apresentam valores para a altura de espraçamento claramente inferiores às formulações provenientes de estudos laboratoriais. Os valores da altura de espraçamento obtidos através da formulação proveniente de trabalho laboratorial são 2.18 a 3.13 vezes superiores aos valores médios da altura de espraçamento obtidos através das formulações provenientes de trabalho de campo (Tabela 11). Esta relação tende a baixar com o aumento da altura de onda. Por sua vez, tende a aumentar com o aumento do período de onda e do declive.

Tabela 11 – Altura de espraçamento (m) para diferente proveniência do estudo e para estruturas costeiras

Formulações			$H_s = 2 \text{ m}$				$H_s = 6 \text{ m}$			
			$\beta = 35\%$		$\beta = 83\%$		$\beta = 35\%$		$\beta = 83\%$	
			T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s
R	C	F7	1.98	2.40	2.40	2.40	3.43	5.14	7.20	7.20
		F8	1.77	2.08	2.39	2.61	4.00	4.96	6.03	6.89
		Média	1.87	2.24	2.39	2.50	3.71	5.05	6.62	7.04
	L	F5	4.67	7.00	6.15	6.15	8.08	12.13	15.63	18.46

De uma forma geral, tanto para praias naturais como para estruturas costeiras, registam-se valores da altura de espraçamento superiores quando a proveniência é laboratorial.

4.5 Nível de Espraçamento

De acordo com Teixeira (2009), para a definição da LMPMAVE, o nível da altura de espraio que interessa conhecer é o nível correspondente ao espraio máximo, uma vez que é

este nível que traduz o limite da inundação máxima da praia. Qualquer um dos outros níveis de espraio será inferior ao nível de espraio máximo. Nas várias formulações para praias naturais, foram detetados oito níveis diferentes de espraçamento, estando representados nas Figuras 10 e 11 os três níveis com maior número de formulações. Na Tabela 12 considerou-se apenas os mesmos três níveis de espraio, correspondentes ao nível de espraio excedido por 2% das ondas, ao nível de espraio máximo e ao nível de espraio significativo. A Tabela 12 também apresenta a média aritmética do espraçamento para cada situação. Novamente, as formulações nº 13 e nº 14 não são aplicáveis para $\beta = 2\%$.

Tabela 12 – Altura de espraçamento (m) para diferentes níveis de espraio, para praias naturais

Formulações		H _s = 2 m				H _s = 6 m			
		β = 2%		β = 10%		β = 2%		β = 10%	
		T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s
R _{2%}	F12	0.17	0.25	0.17	0.25	0.17	0.25	0.17	0.25
	F16	0.54	0.81	1.21	1.81	0.93	1.40	2.09	3.13
	F17	0.63	0.75	1.57	2.16	1.61	1.81	3.23	4.25
	F18	0.26	0.39	1.30	1.95	0.45	0.68	2.25	3.38
	F24	0.90	1.20	2.82	3.76	1.83	2.44	5.73	7.64
	F46	2.64	2.64	2.64	2.64	7.92	7.92	7.92	7.92
	F48	0.61	0.91	1.30	1.95	1.05	1.58	2.26	3.39
	F50	0.33	0.50	2.71	4.07	0.58	0.87	4.70	7.05
	F56	1.18	1.76	1.41	2.12	2.04	3.06	2.44	3.67
	F58	0.78	0.78	0.78	0.78	2.78	2.78	2.78	2.78
	F59	1.08	1.29	2.70	3.71	2.74	3.09	5.53	7.28
	Média	0.83	1.03	1.69	2.29	2.01	2.35	3.56	4.61
R _{máx}	F3	0.66	0.66	0.66	0.66	1.98	1.98	1.98	1.98
	F4	1.62	2.44	1.62	2.44	2.81	4.22	2.81	4.22
	F13	-	-	3.31	4.52	-	-	6.50	8.88
	F19	0.30	0.45	1.51	2.27	0.52	0.79	2.62	3.93
	F20	2.22	2.22	2.22	2.22	5.42	5.42	5.42	5.42
	F21	0.31	0.46	1.53	2.29	0.53	0.79	2.64	3.96
	F22	0.57	0.57	2.84	2.84	0.57	0.57	2.84	2.84
	F23	1.00	1.36	3.44	4.70	1.96	2.67	6.75	9.23
	Média	0.95	1.17	2.14	2.74	1.97	2.35	3.95	5.06
R _s	F11	1.40	1.40	1.40	1.40	4.20	4.20	4.20	4.20
	F14	-	-	2.21	2.93	-	-	4.52	5.99
	F25	0.68	0.90	2.10	2.79	1.39	1.85	4.29	5.70
	F44	1.78	1.78	1.78	1.78	5.34	5.34	5.34	5.34
	F55	0.84	1.27	1.01	1.52	1.46	2.19	1.75	2.63
	Média	1.18	1.34	1.70	2.08	3.10	3.39	4.02	4.77

Nas formulações propostas por Mase (1989), a formulação que calcula o nível de espraio máximo (formulação nº 23) fornece os maiores valores de espraçamento, em comparação com

as formulações nº 24 e nº 25, que calculam o nível de espraio excedido por 2% das ondas e o nível de espraio significativo, respetivamente. Nas formulações propostas por Mase e Iwagaki (1984), também se verifica que a formulação que calcula o nível de espraio máximo (formulação nº 13) fornece maiores valores de espraçamento do que a formulação que calcula o nível de espraio significativo (formulação nº 14). No entanto, observando a Tabela 12, nem sempre o nível de espraio máximo corresponde aos valores máximos da altura de espraçamento, pois o nível de espraio significativo regista maiores valores médios de espraçamento sempre que $\beta = 2\%$, e o nível de espraio máximo regista os maiores valores médios de espraçamento sempre que $\beta = 10\%$, com exceção da situação em que $H = 6$ m e $T = 8$ s.

Para as praias naturais, para condições marítimas mais severas, ou seja, alturas e comprimentos de onda maiores, assim como também para maiores declives, o nível de espraio máximo é aquele que regista os maiores valores em comparação com outros níveis de espraio. No caso das estruturas costeiras, há uma diferença significativa no número de formulações de cada nível de espraio. Foram detetados nove diferentes níveis de espraio, sendo o nível de espraio excedido por 2% das ondas o mais representado, com dezoito formulações, seguido pelo nível de espraio total, com três formulações e por fim o nível de espraio significativo com duas formulações.

No nível de espraio excedido por 2% das ondas é notória uma grande dispersão das formulações, para diferentes declives, o que não sucede nas formulações para o nível de espraio significativo (Figuras 12 e 13). Para o nível de espraio significativo, à medida que o declive diminui os valores para a altura de espraçamento calculados através das duas formulações identificadas, tendem a ser semelhantes.

Na Tabela 13 as formulações nº 26 e nº 27 não foram aplicadas, uma vez que para estas formulações existem condicionalismos na gama de valores do número de Iribarren a considerar (Tabelas 1 e 2).

Tabela 13 – Altura de espraçamento (m) para diferentes níveis de espraio, para estruturas costeiras

Formulações		$H_s = 2 \text{ m}$				$H_s = 6 \text{ m}$			
		$\beta = 35\%$		$\beta = 83\%$		$\beta = 35\%$		$\beta = 83\%$	
		T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s
$R_{2\%}$	F6	5.96	6.33	6.67	6.92	12.31	17.41	18.76	19.72
	F10	1.54	2.04	2.62	3.07	2.99	4.15	5.77	7.33
	F26	-	-	-	-	12.31	-	-	-
	F27	-	-	-	-	6.81	-	-	-
	F30	3.26	3.93	3.94	3.94	6.85	9.16	11.31	11.82
	F35	6.74	5.91	4.47	2.50	15.51	20.89	18.39	14.98
	F36	3.50	4.14	4.99	5.90	8.29	9.91	11.96	14.12
	F37	3.26	3.93	4.85	5.85	6.85	9.16	11.31	13.63
	F39	7.58	7.58	6.75	5.63	13.13	19.70	23.11	21.16
	F40	4.82	4.22	3.19	1.79	11.08	14.92	13.13	10.70
	F41	4.86	5.35	3.94	4.34	15.59	16.59	0.00	0.00
	F42	6.00	6.00	6.00	6.00	12.31	18.00	18.00	18.00
	F43	6.40	6.40	6.40	6.40	13.13	19.20	19.20	19.20
	F49	1.73	2.18	2.63	2.89	3.51	4.72	6.24	7.50
	F51	6.92	10.39	16.42	24.63	11.99	17.99	28.44	42.66
	F60	5.25	6.17	6.84	7.23	10.07	14.47	17.97	19.98
	Média	4.85	5.33	5.69	6.22	10.17	14.02	14.54	15.77
R	F5	4.67	7.00	6.15	6.15	8.08	12.13	15.63	18.46
	F7	1.98	2.40	2.40	2.40	3.43	5.14	7.20	7.20
	F8	1.77	2.08	2.39	2.61	4.00	4.96	6.03	6.89
	Média	2.80	3.83	3.65	3.72	5.17	7.41	9.62	10.85
R_s	F33	2.37	2.70	2.70	2.70	5.14	6.70	8.08	8.10
	F38	2.37	2.80	3.37	3.98	5.14	6.70	8.08	9.54
	Média	2.37	2.75	3.04	3.34	5.14	6.70	8.08	8.82

O nível de espraio máximo não consta da Tabela 13 porque é dos níveis de espraio menos representados para estruturas costeiras. De facto, apenas uma formulação calcula o nível de espraio máximo, a formulação nº 52. Neste caso, as alturas de espraçamento situam-se abaixo dos valores médios da altura de espraçamento calculados através das formulações do nível de espraio excedido por 2% das ondas, mas acima das médias dos restantes níveis de espraio (Tabela 14).

Tabela 14 – Altura de espraçamento (m) para o nível de espraio máximo (formulação nº 52)

Formulações		$H_s = 2 \text{ m}$				$H_s = 6 \text{ m}$			
		$\beta = 35\%$		$\beta = 83\%$		$\beta = 35\%$		$\beta = 83\%$	
		T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s	T = 8 s	T = 12 s
$R_{\text{máx}}$	F52	3.06	3.87	4.81	5.59	6.27	8.35	11.04	13.55

Pode-se referir que Grune e Wang (2000) estudaram a relação entre os diferentes níveis de espraio das ondas e o nível de espraio excedido por 2% das ondas em estruturas de defesa costeira (Tabela 15). Os autores concluíram que o valor da altura de espraçamento calculado tendo em consideração o nível de espraio máximo seria 18% maior do que o valor da altura de espraçamento calculado para o nível de espraio excedido por 2% das ondas.

Tabela 15 – Relação entre os diferentes níveis de espraio (Grune e Wang, 2000)

$R_{\text{máx}}$	$R_{2\%}$	$R_{5\%}$	$R_{10\%}$	R_s
1.18	1.00	0.94	0.84	0.81

4.6 Batimetria

A formulação nº 3 é a única a considerar a influência da batimetria no valor final da altura de espraçamento. Utilizando a formulação nº 3, os parâmetros intervenientes no cálculo da altura de espraçamento, são a altura de onda e a distância da linha de costa, considerando o nível médio da água do mar, até à linha batimétrica -15 m (ΔX). A Figura 14 apresenta graficamente a variação da altura de espraçamento para os diferentes valores de altura de onda e de ΔX .

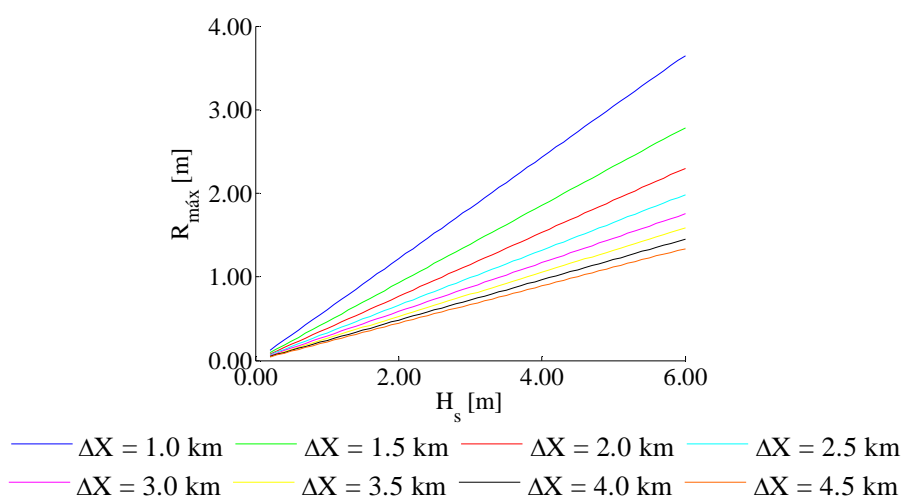


Figura 14 – Altura de espraçamento utilizando a formulação nº 3

Para igual valor da altura de onda, verificam-se maiores valores para a altura de espraçamento com menores valores de ΔX . Isto vem de encontro ao que já se verificou atrás, uma vez que para menores valores de ΔX correspondem maiores declives e consequentemente maiores alturas de espraçamento. Os valores da altura de espraçamento para $\Delta X = 1.00$ km são cerca de 2.7 vezes maiores do que os valores da altura de espraçamento para $\Delta X = 4.50$ km, realçando a importância do declive nos resultados do espraçamento.

4.7 Granulometria

No cálculo da altura de espraio através da formulação nº 12 são vários os parâmetros intervenientes, como o número adimensional de Dean (N_0), a dimensão média do sedimento na zona de espraio (d_{sw}) e na zona de rebentação (d_{sr}) e a altura de onda significativa (H_s). O número adimensional de Dean calcula-se através da expressão (18), e para além da dependência da altura de onda significativa, depende também do período de onda e da velocidade de queda do sedimento na zona de rebentação (w_{sr}).

$$N_0 = \frac{H_s}{T \times w_{sr}} \quad (18)$$

Por sua vez, o parâmetro velocidade de queda do sedimento na zona de rebentação calcula-se através da expressão (19) e depende apenas da dimensão média do sedimento na zona de rebentação.

$$w_{sr} = 14.5 \times (d_{sr})^{1.1} \quad (19)$$

De forma a simplificar o cálculo da altura de espraio através da fórmula nº 12, substitui-se a expressão (19) na expressão (18), e por sua vez substitui-se o número adimensional de Dean na expressão da formulação nº 12, tendo-se chegado à expressão final (20) para o cálculo da altura de espraio utilizando a formulação nº 12. Apesar da altura de onda estar presente na estrutura da formulação inicial, o valor final da altura de espraio é independente da altura de onda, devido à relação entre os diferentes parâmetros intervenientes na formulação.

$$R_{2\%} = 59.45T \times (d_{sr})^{1.1} \times \sqrt{\frac{d_{sw}}{d_{sr}}} \quad (20)$$

Assim, o período de onda e a dimensão média do sedimento na zona de espraio e na zona de rebentação são os únicos parâmetros intervenientes no cálculo da altura de espraio. Na Figura 15, verifica-se o aumento da altura de espraio em função do aumento do período de onda. O aumento da dimensão média do sedimento na zona de espraio e na zona de rebentação também contribui para valores mais elevados da altura de espraio.

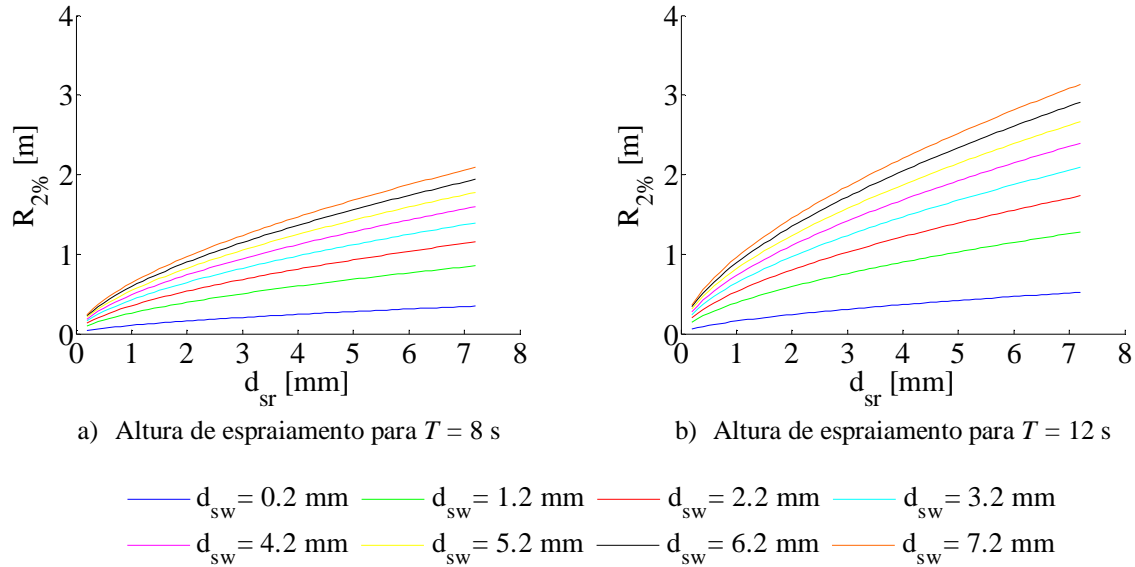


Figura 15 – Altura de espraçamento utilizando a formulação nº 12

A variação do período de onda de 8 para 12 segundos, para uma igual dimensão média do sedimento na zona de rebentação, provoca em média, um acréscimo de 50% no valor da altura de espraçamento. Por sua vez, para igual período de onda e dimensão média do sedimento na zona de rebentação, o aumento da dimensão média do sedimento na zona de espraço provoca um aumento na altura de espraçamento. No entanto, este aumento é bastante acentuado nas areias mais finas ($d_{sw} = 0.2$ mm para $d_{sw} = 1.2$ mm), aumentando cerca de 150%, e bastante reduzido para areias mais grossas ($d_{sw} = 6.2$ mm para $d_{sw} = 7.2$ mm), variando cerca de 10%.

4.8 Coeficientes de redução

Nas várias formulações indicadas para estruturas costeiras, existem três que apresentam na sua estrutura coeficientes de redução da altura de espraçamento. Estes coeficientes pretendem representar determinadas características das estruturas e da própria ondulação incidente, variando o seu valor em função das condicionantes impostas, transmitindo a sua influência no cálculo do valor final da altura de espraçamento. As formulações em questão são as formulações nº 6, 42 e 43 (Tabelas 1 e 2). A formulação nº 6 depende da rugosidade da superfície do talude (γ_r), da berma de pré-rebentação (γ_b) e da obliquidade da onda (γ_α). As restantes formulações, para além de apresentarem dependência a todos os coeficientes de redução já mencionados, também dependem da profundidade (γ_h).

Para testar a sensibilidade do valor da altura de espraçamento a cada coeficiente de redução, adotaram-se três valores representativos: um valor mínimo, um valor médio e por fim o valor máximo que caracteriza cada coeficiente.

4.8.1 Coeficiente de redução de rugosidade da superfície do talude

De acordo com De Waal e Van der Meer (1992), o valor do coeficiente de redução de rugosidade da superfície do talude para estruturas impermeáveis depende essencialmente do tipo de material e do ângulo do talude da estrutura. Através de ensaios laboratoriais com variações geométricas, os autores estabeleceram que para ondas oscilatórias ($\xi > 4$), o coeficiente de redução de rugosidade da superfície do talude tende a aproximar-se lentamente de 1 e para $1 < \xi < 4$, o coeficiente de redução de rugosidade da superfície do talude adota os valores da Tabela 16. Os parâmetros l , b e a presentes na Tabela 16 representam, respetivamente, o comprimento (paralelo ao eixo da estrutura), a largura ao longo do talude (perpendicular ao eixo da estrutura) e a altura dos elementos artificiais (blocos ou rugosidades). Para testar a sensibilidade do valor da altura de espraçamento ao coeficiente de redução de rugosidade da superfície do talude, adotaram-se os valores de 0.50, 0.75 e 1.00.

Tabela 16 – Valores do coeficiente de redução de rugosidade da superfície do talude (adaptado de De Waal e Van der Meer, 1992)

Tipos de Superfície Inclinada			K_r
Lisa, Betão, Asfalto			1.00
Lisa revestida com blocos			1.00
Relvado (3 cm)			0.90-1.00
Rugosidade em taludes suaves ($l = 9b$)			
a/b	b/H_s	Revestimento	
1.00	0.12-0.19	1/7.5	0.60-0.70
Blocos em taludes lisos ($l = b$)			
a/b	b/H_s	Revestimento	
0.88	0.12-0.19	1/9	0.70-0.75
0.88	0.12-0.24	1/25	0.75-0.85
0.44	0.12-0.24	1/25	0.85-0.95
0.88	0.12-0.18	1/25 (acima NMM)	0.85-0.95
0.18	0.55-1.10	1/4	0.75-0.85
Enrocamento			
Uma camada ($H_s/D = 1.5-3.0$)			0.55-0.60
Duas ou mais camadas ($H_s/D = 1.5-6.0$)			0.50-0.55

4.8.2 Coeficiente de redução da berma de pré-rebentação

De acordo com Eurotop (2007), uma berma faz parte de um perfil de estrutura na qual a inclinação varia entre a horizontal e 6.7%. A meio da berma encontra-se a profundidade h_B , abaixo do nível médio da água do mar (NMM). A berma é ainda caracterizada pela sua largura, B , a qual não deve ser superior a um quarto do comprimento das ondas incidentes (Figura 16).

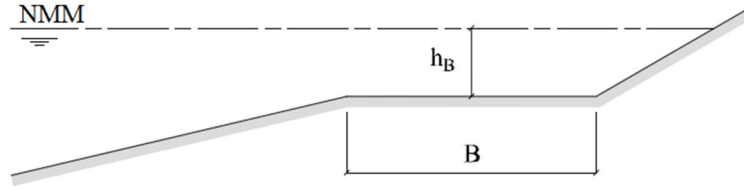


Figura 16 – Definição de berma (adaptado de De Waal e Van der Meer, 1992)

A definição do coeficiente de redução da berma de pré-rebentação é caracterizada por duas partes: a primeira tem em consideração a redução da inclinação média (r_B), provocada pela influência da largura da berma; a segunda relaciona-se com a profundidade a meio do comprimento da berma (h_B). Se a berma se encontra ao mesmo nível que o nível médio da água do mar, então o parâmetro redução da influência da berma causada pela profundidade a meio do comprimento da berma (r_{hB}) passa a ser nulo e o coeficiente de redução da berma de pré-rebentação passa a depender somente do parâmetro r_B . Este parâmetro calcula-se através da expressão (21), e é nulo sempre que se verificar a inexistência da berma. Para esta situação o coeficiente de redução da berma de pré-rebentação assume o valor igual à unidade.

$$r_B = \frac{B}{L_{berm}} \quad (21)$$

De acordo com De Waal e Van der Meer (1992), o coeficiente de redução da berma de pré-rebentação calcula-se através da equação (22), e varia entre 0.6 e 1.0.

$$\gamma_b = 1 - r_B \times (1 - r_{h_B}) \quad (22)$$

De acordo com o intervalo de valores considerado para o coeficiente de redução da berma de pré-rebentação, consideraram-se para análise à sensibilidade do valor da altura de espraçamento ao coeficiente de redução de rugosidade da superfície do talude, os valores de 0.60, 0.80 e 1.00.

4.8.3 Coeficiente de redução da obliquidade da onda

A influência da direção da onda incidente no cálculo da altura de espraçamento é definida pelo coeficiente de redução da obliquidade da onda. O coeficiente de redução da obliquidade da onda depende do ângulo entre a direção da onda incidente e o eixo perpendicular à estrutura (Figura 17). O ângulo é medido junto à base da estrutura depois de quantificados todos os fenómenos de refração e difração associados à propagação das ondas desde o largo até ao ponto de interesse.

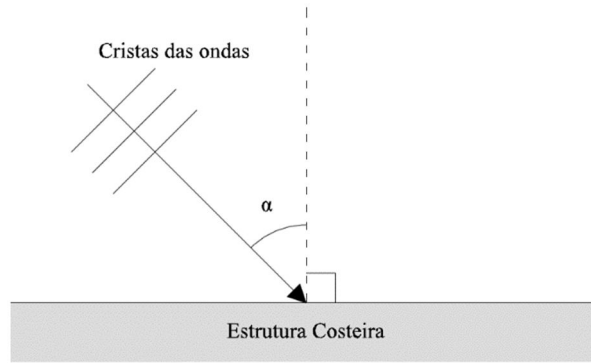


Figura 17 – Definição do ângulo α , de incidência das ondas sobre as estruturas costeiras

De uma forma prática, segundo o Eurotop (2007), pode-se calcular o coeficiente de redução da obliquidade da onda através das seguintes expressões, com α em graus:

Para $0^\circ \leq \alpha \leq 80^\circ$:

$$\gamma_\alpha = 1 - 0.0022 \times |\alpha| \quad (23)$$

E para $\alpha > 80^\circ$:

$$\gamma_\alpha = 0.824 \quad (24)$$

De forma a testar a sensibilidade do valor da altura de espraimento ao coeficiente de redução da obliquidade da onda, adotaram-se os valores de 0.824, 0.912 e 1.00.

4.8.4 Coeficiente de redução de profundidade

O coeficiente de redução de profundidade é determinado de acordo com as condições batimétricas de cada local, sendo dependente da profundidade e da altura de onda (Figura 18).

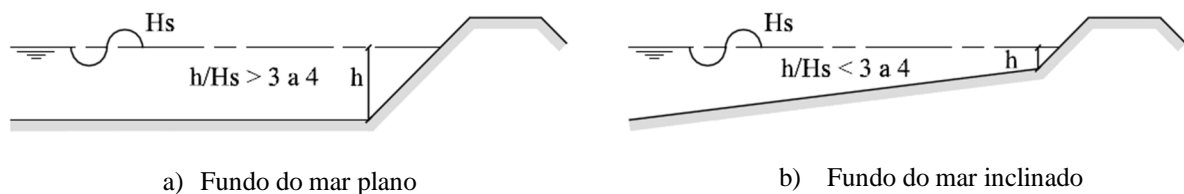


Figura 18 – Influência da morfologia do fundo do mar

Segundo De Waal e Van der Meer (1992), o nível de espraio excedido por 2% das ondas está relacionado com a altura de onda significativa (H_s) e a altura de onda excedida em 2% ($H_{2\%}$). No entanto, as formulações que calculam o nível de espraio excedido por 2% das ondas apenas consideram a altura de onda significativa. Esta evidência é apenas válida para situações em que a altura de onda segue uma distribuição Rayleigh (Figura 18a), e por isso o quociente entre $H_{2\%}$ e H_s é constante, igual a 1.4. Para a situação mais comum, a situação de águas pouco profundas (Figura 18b), as ondas maiores irão rebentar antes de atingirem a

estrutura, o que levará a que a altura de onda medida na base da estrutura deixe de seguir uma distribuição Rayleigh. Para este caso, o coeficiente de redução de profundidade pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\gamma_h = \frac{H_{2\%}}{1.4H_s} \quad (25)$$

Para taludes suaves, De Waal e Van der Meer (1992), concluíram que o coeficiente de redução de profundidade assume o valor da unidade sempre que $h/H_s > 4$ e para o caso em que $1 \leq h/H_s \leq 4$ consideraram a seguinte expressão:

$$\gamma_h = 1 - 0.03 \times \left(4 - \frac{h}{H_s} \right)^2 \quad (26)$$

Para se testar a influência do valor da altura de espraçamento ao coeficiente de redução de profundidade, consideraram-se os valores de 0.73, 0.865 e 1.00.

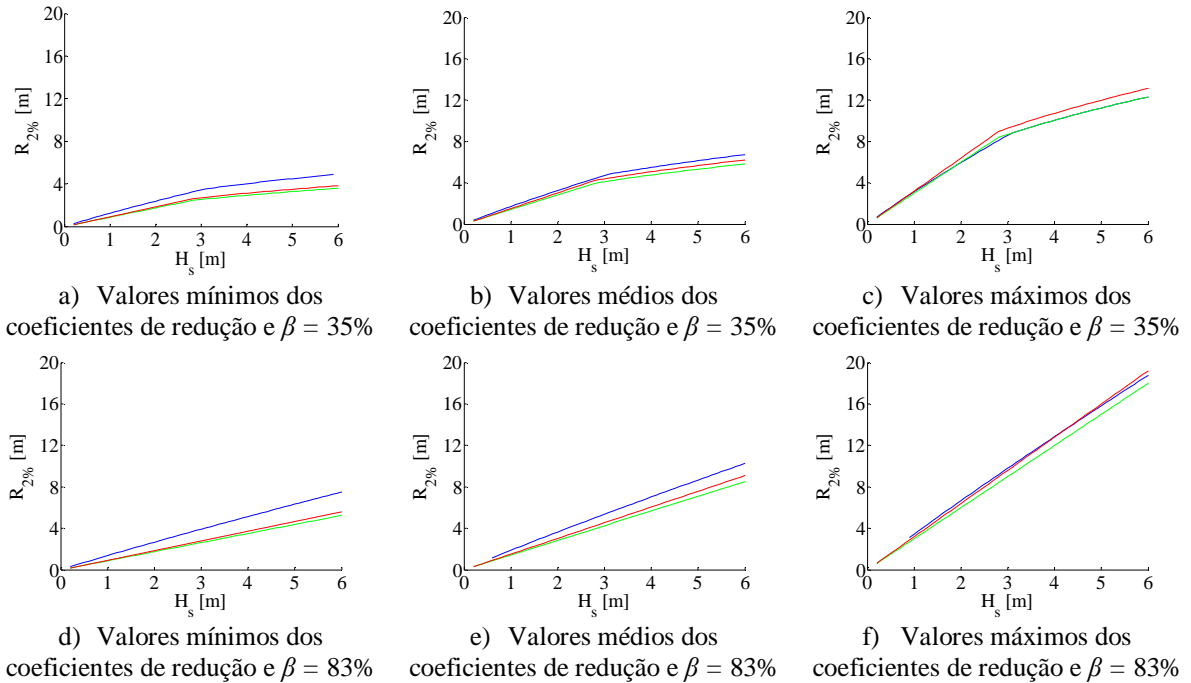
4.8.5 Ação simultânea dos coeficientes de redução

A Tabela 17, apresentada abaixo, reúne todos os valores mínimos, médios e máximos considerados para cada um dos coeficientes de redução. De uma primeira análise é possível verificar que cada um dos coeficientes de redução é igual ou inferior a um e consequentemente o produto entre os quatro coeficientes de redução identificados está compreendido no intervalo entre 0.29 e 1.00, ou seja, a altura de espraçamento calculada poderá ser afetada até 70% do seu real valor devido às características existente na fronteira costeira ou do ângulo de incidência da ondulação. No caso dos valores mínimos dos coeficientes de redução, de acordo com TAW (2002), a influência dos coeficientes de redução quando conjugada deve ser limitada. A combinação conjunta de γ_r , γ_b e γ_a só deve ser aplicada quando multiplicados entre si sejam igual ou superior a 0.40, já que para situações de valores inferiores a 0.40 é recomendado um estudo específico. Na análise dos valores mínimos dos coeficientes de redução este facto foi tido em conta e considerou-se o valor de 0.40 para o produto entre γ_r , γ_b e γ_a sempre que se verificou que o mesmo era inferior a 0.40.

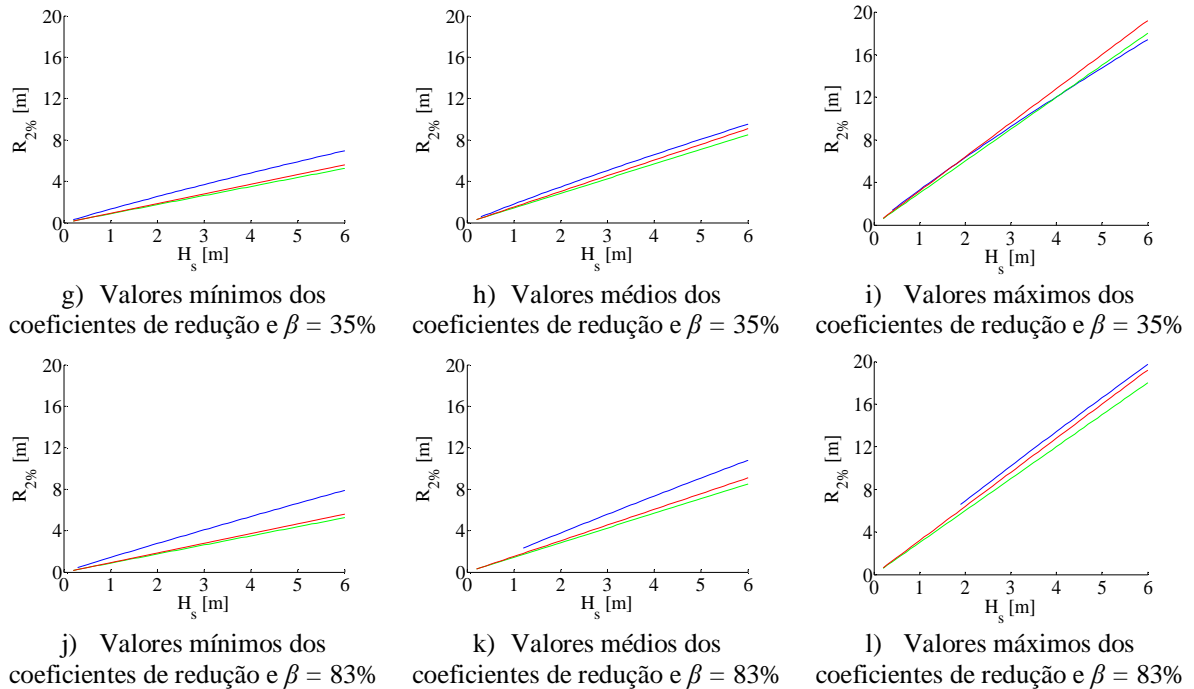
Tabela 17 – Valores considerados para os coeficientes de redução

Coeficientes de Redução	Valores		
	Mínimos	Médios	Máximos
γ_b	0.60	0.80	1.00
γ_r	0.50	0.75	1.00
γ_a	0.82	0.91	1.00
γ_h	0.73	0.87	1.00

Como referido, apenas as formulações nº 6, nº 42 e nº 43 consideram os coeficientes de redução no cálculo da altura de espraçamento. Estas três formulações foram avaliadas considerando um período de onda de 8 s e 12 s, e considerou-se também um declive de 35% e de 83%.



Da imagem a) até f) para um período de onda de $T = 8$ s



Da imagem g) até l) para um período de onda de $T = 12$ s

— Formulação Nº 6 — Formulação Nº 42 — Formulação Nº 43

Figura 19 – Altura de espraçamento considerando a influência dos coeficientes de redução

A Figura 19 mostra a influência dos valores dos coeficientes de redução, considerando os valores mínimos (Figura 19a, 19d, 19g e 19j), os valores médios (Figura 19b, 19e, 19h e 19k) e os valores máximos (Figura 19c, 19f, 19i e 19l). A influência de cada um dos coeficientes pode resultar numa redução significativa do espraçamento, basta que para isso exista um quebra-mar com taludes compostos por blocos de betão ou que a agitação incida na estrutura obliquamente, por exemplo.

Naturalmente, o aumento do coeficiente de redução resulta em maiores alturas de espraçamento. Nas Figura 19a, 19b e 19c verifica-se a existência de pontos de inflexão nas representações gráficas de cada uma das formulações, porque se recorre a duas expressões diferentes na mesma formulação (ver Tabelas 1 e 2). Para o caso específico da formulação nº 6, sempre que o produto entre o número de Iribarren espectral e o coeficiente de redução da berma de pré-rebentação não se situa entre os valores de 0.5 e 8 (Tabela 1), a formulação não apresenta resultados.

4.9 Declive condicionado

As formulações nº 1 e nº 9, ambas com aplicabilidade para estruturas costeiras, apresentam um condicionalismo relativamente à gama de valores a considerar para o declive da estrutura. A formulação nº 1 apenas é válida para declives com inclinação inferior a 28.67% e a formulação nº 9 para declives com inclinação entre 25.01% e 50.01% (Tabela 1). Assim, testaram-se as formulações nº 1 e nº 9 para o intervalo de declives de 10.0%, 14.0%, 18.0%, 22.0% e 26.0% e de 25.0%, 30.0%, 35.0%, 40.0% e 45.0%, respetivamente (Figuras 20 e 21).

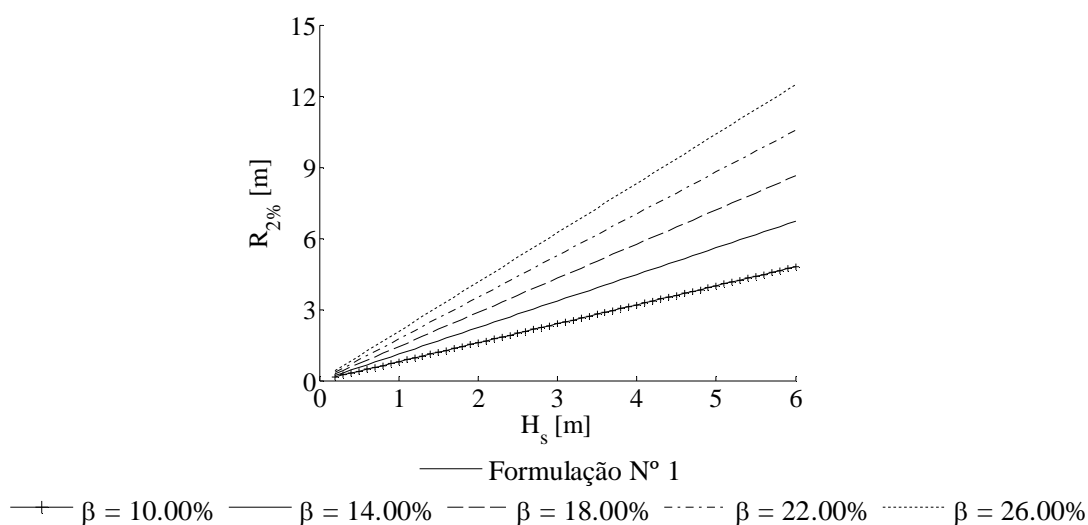


Figura 20 – Altura de espraçamento utilizando a formulação nº 1

Uma vez mais, verifica-se o aumento da altura de espraçamento em função do aumento do declive, ou da altura de onda. No caso da formulação nº 9 o período de onda também é

contabilizado para o cálculo da altura de espraioamento, levando a valores de espraioamento ligeiramente maiores, quando considerados maiores períodos de onda.

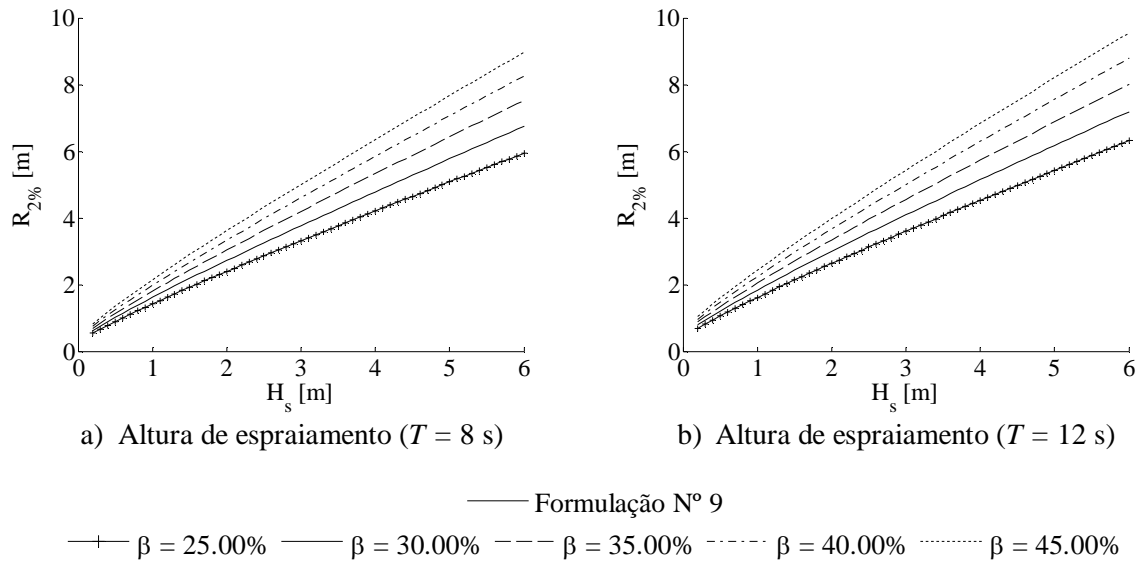


Figura 21 – Altura de espraioamento utilizando a formulação n° 9

Independentemente do declive e do período de onda, para um aumento da altura de onda de 2 m para 6 m, verifica-se um aumento das alturas de espraioamento de aproximadamente 2.40 a 2.48 vezes.

Capítulo 5

CARACTERIZAÇÃO DO LITORAL DE AVEIRO

5 CARACTERIZAÇÃO DO LITORAL DE AVEIRO

Com o objetivo de estimar as formulações adequadas ao litoral de Aveiro, é essencial proceder à caracterização desta zona costeira, quer em termos do clima de agitação marítima, quer também em termos da caracterização morfológica das praias existentes.

Segundo Teixeira (2009), a grande ação modeladora do litoral é a agitação marítima. Para o tema em discussão interessa definir as condições médias de agitação do mar mas é igualmente relevante caracterizar os desvios relativamente a essa média, nomeadamente as condições extremas a que o litoral está sujeito aquando da ocorrência de tempestades, capazes de alterarem rapidamente a morfologia que predomina sob condições de agitação marítima média.

Para além das características da agitação marítima, é essencial conhecer e caracterizar o declive para o litoral de Aveiro. Este parâmetro é dinâmico ao longo do tempo, o que dificulta a sua definição, mas é importante que seja definido e adotado de acordo com a realidade existente no terreno. A definição de outros parâmetros como a batimetria e a granulometria também foi necessária para as formulações que através destes parâmetros estimam a altura de espraçamento.

No caso específico das formulações para estruturas costeiras, foi necessário caracterizar as estruturas, quer do ponto de vista geométrico, assim como dos materiais utilizados na sua construção, de forma a definir-se os coeficientes de redução e declive característico para o litoral de Aveiro.

A definição de todos os parâmetros característicos permitiu estabelecer as condições necessárias para definir as formulações representativas para o litoral de Aveiro, para estimativa da altura de espraçamento.

5.1 Agitação Marítima

Até aos anos sessenta do século XX, o conhecimento da agitação marítima era escasso, não sistemático e incorreto, uma vez que era fundamentado em observações visuais efetuadas a partir de navios que cruzavam as águas portuguesas. Entre janeiro de 1954 e dezembro de 1960, procedeu-se à recolha das primeiras observações sistemáticas, que tiveram por fim a caracterização do clima de agitação marítima na costa oeste portuguesa, tendo sido posteriormente sintetizadas por Carvalho e Barceló (1966).

Para a costa ocidental portuguesa, Carvalho e Barceló (1966), verificaram que as alturas de onda significativa mais frequentes eram de 1 m a 2 m, com 45% das ocorrências, enquanto

alturas de onda superiores a 3 m correspondiam a cerca de 15% das ocorrências, e registaram apenas 2% das ocorrências para alturas superiores a 6 m. Em 6% das observações foram verificados períodos de calma. A altura de onda significativa máxima registada, ao largo, foi de 11 m, o que não significa que não tenham ocorrido máximos superiores em situações de temporal. Os valores mais frequentes registados para o período de onda significativo estão compreendidos entre 9 s e 11 s, sendo o valor mínimo observado de 6 s e o máximo raramente ultrapassou os 18 s. Os rumos mais frequentes, da ondulação, foram de N80°W a N70°W, com 28% das ocorrências, enquanto a ondulação proveniente do quadrante SW representa apenas 20% das ocorrências.

Não tendo sido possível deduzir as variações mensais ou sazonais do regime de agitação, Carvalho e Barceló (1966) apresentam uma aproximação a essas variações. Os mesmos autores consideram que os valores máximos mensais das alturas de onda significativa mostram uma variabilidade acentuada, verificando-se valores de 11 m em dezembro e janeiro, e de 4 m em julho. No que diz respeito ao rumo, verificou-se que as ondas provenientes do quadrante NW ocorrem em qualquer época do ano, e as ondas provenientes do quadrante SW concentram-se nos meses de inverno, sendo praticamente inexistentes nos meses de verão. Por fim, a gama de valores de período de onda observada mantém-se praticamente constante ao longo de todo o ano, manifestando-se uma ligeira tendência para diminuir nos meses de junho, julho e agosto (Ferreira, 1993).

Já mais recentemente, Andrade e Freitas (2002), referem que a ondulação ao largo da costa oeste portuguesa se caracteriza por uma altura de onda significativa que varia entre 2 m a 2.5 m e o seu respetivo período de onda entre 9 s e 11 s, com proveniência dos quadrantes WNW e NNW, sendo gerada por ventos de altas latitudes do Atlântico Norte. Na costa oeste portuguesa é raro encontrar o mar sem agitação, sendo frequente a ondulação ultrapassar os 5 m de altura significativa ao largo, entre outubro e março.

Com base nos dados recolhidos, entre setembro de 1986 e dezembro de 2000, a partir das estações direcionais da Figueira da Foz, Sines e Faro, Costa *et al.* (2001) estabeleceram os valores médios anuais dos parâmetros escalares da agitação marítima para o litoral de Portugal Continental. A estação direcional da Figueira da Foz (a mais próxima de Aveiro) é aquela que apresenta menor período de recolha de dados (julho de 1990 até janeiro de 1996), e consequentemente menor volume de registos válidos (10190).

À semelhança do estudo realizado por Costa *et al.* (2001), procurou-se estabelecer os valores médios anuais dos parâmetros escalares da agitação marítima para o litoral do distrito

de Aveiro, a partir dos dados recolhidos pela estação ondógrafo de Leixões. Foram avaliados apenas os registos da boia de Leixões, por ser esta a mais próxima e naturalmente a mais representativa da agitação ao largo do litoral do distrito Aveirense. Os dados referem-se ao período de registos, entre 1981 e 2003.

De acordo com Costa *et al.* (2001) e Coelho (2005), a aquisição de dados efetuada pelo Instituto Hidrográfico (IH) procede-se de duas formas distintas. Por um lado, em situações de normalidade da agitação marítima, a aquisição dos dados é efetuada a cada 3 horas durante períodos de 20 a 30 minutos. Quando as condições de agitação marítima se agravam e consequentemente se estabelecem as condições de temporal, ou seja, a altura significativa excede os 5 m, no caso da costa oeste ou os 3 m no caso da costa sul, a aquisição dos dados processa-se de um modo quase contínuo. Os dados são adquiridos a uma taxa de digitalização de 1.28 amostras por segundo, sendo o limite mínimo de duração para que um conjunto de dados (registo) seja tratado de 10 minutos. Os grupos data/hora estão referidos à hora local e correspondem ao início dos registos, ou seja, correspondem às 0:00 h, 3:00 h, 6:00 h, 9:00 h, 12:00 h, 15:00 h, 18:00 h e 21:00 h do dia. No tratamento estatístico realizado, considerou-se que cinco ou mais registos consecutivos obtidos em intervalos de tempo inferior às 3 horas habituais seriam registos de temporal.

Dos registos da boia de Leixões constavam os valores relativos à altura de onda significativa, os valores do período médio e os valores da direção média associada ao período de pico, estes últimos registados apenas a partir de 1993. As direções estão referidas ao norte verdadeiro, tendo-se considerado os valores para a declinação magnética de 6° W entre 1993 e 1997 e de 5° W entre 1998 e 2003. O período de registos recolhidos é considerável, correspondendo a 16 anos, mas existem falhas nos registos ao longo do tempo. Na Tabela 18 são apresentados o número total dos registos recolhidos pelo IH para cada mês do período analisado, sem diferenciar os registos em situações de temporal. Entre o período de 1981 e 1985, em 60 meses possíveis verificaram-se 28 meses sem qualquer registo, o que corresponde a uma lacuna de 47% nos registos.

Em condições normais, a recolha de dados realizada pelo IH, originaria cerca de 240 registos mensais (oito por dia), resultando ao fim de 16 anos num total de 46080 registos. No entanto, o número total de registos corresponde a cerca de 56% do número de registos possíveis. Este valor baixo deve-se ao facto de em vários meses não se ter registado qualquer valor (33%), sendo também evidente que é frequente encontrar vários meses com um número de registos inferior a 240. Os meses com número de registos superior a 240, revelam

necessariamente a ocorrência de temporais, o que levou a uma aquisição de dados mais frequente. Algumas situações de temporal não terão sido registadas por problemas técnicos relacionados com o ondógrafo, ou deficiências de transmissão de dados para terra (Coelho, 2005).

Tabela 18 – Número total de registos efetuados nos diferentes meses do período em análise

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total
1981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	192	237	292	721
1982	245	184	240	239	247	238	215	221	232	195	218	195	2669
1983	176	0	0	0	0	0	0	0	0	104	166	239	685
1984	241	206	237	202	234	222	226	242	218	225	218	210	2681
1985	136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136
1993	0	0	0	0	0	0	28	0	18	176	80	133	435
1994	90	243	179	0	44	234	202	125	122	29	22	212	1502
1995	116	0	0	0	0	0	0	0	42	20	0	0	178
1996	0	0	111	204	109	107	112	228	235	235	252	206	1799
1997	55	0	235	233	172	48	0	201	234	221	330	21	1750
1998	0	220	226	264	217	166	97	191	180	238	259	411	2469
1999	124	162	276	228	235	234	238	225	257	292	139	309	2719
2000	270	267	245	263	0	0	0	0	0	0	0	0	1045
2001	0	0	0	0	73	236	239	245	238	165	0	247	1443
2002	312	297	242	233	251	198	226	246	82	0	56	310	2453
2003	261	246	284	243	245	240	245	247	238	293	230	251	3023
Total	2026	1825	2275	2109	1827	1923	1828	2171	2096	2385	2207	3036	25708

A partir da Tabela 19, onde se identificam o número de registos de temporal, é possível verificar que dezembro é o mês com maior número de registos de temporal. Verifica-se ainda que, os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são aos meses com maior número de registos de temporal, correspondendo precisamente aos meses de inverno. Entre o ano de 1981 a 1985 são muito escassos os registos de temporal, provavelmente relacionados com a forma de aquisição de dados durante esse período e com a localização da própria boia, não tendo sido recolhido qualquer registo em situação de temporal em três anos consecutivos, 1982, 1983 e 1984. Além disso, no ano de 2001 também não se verificou qualquer registo de temporal. Como seria de esperar, para os meses de verão, junho, julho e agosto, não se verificaram quaisquer registos de temporal.

Tabela 19 – Número de registos em condições de temporal, efetuados nos diferentes meses do período em análise

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total
1981												85	85
1982													0
1983													0
1984													0
1985	17												17
1993										57		17	74
1994	20	96										87	203
1995	18												18
1996				7							72		79
1997											145		145
1998				101					20		30	221	372
1999	67	36	59	12					57	108		98	437
2000	59	54		38									151
2001													0
2002	112	104			13						35	85	349
2003	52	43	47	13						55	46	6	262
Total	345	333	106	171	13	0	0	0	77	220	328	599	2192

5.1.1 Altura de onda significativa e período de onda máximo

Consideraram-se três abordagens distintas para se avaliar a altura de onda significativa e o período de onda máximo característico do litoral de Aveiro. Numa primeira abordagem, consideraram-se todos os registos efetuados nos diferentes meses do ano, englobando todos os registos recolhidos, quer em situação de agitação média do mar, quer em situação de temporal. Numa segunda abordagem, consideraram-se os mesmos registos da primeira abordagem mas apenas para os meses de equinócio (março e setembro), resultando este procedimento num total de 4371 registos, 2275 do mês de março e 2096 do mês de setembro. Por fim, consideraram-se apenas os registos relativos a situação de temporal. Para cada uma destas três abordagens, calculou-se a média da respetiva altura de onda significativa e período máximo, obtendo-se os valores apresentados na Tabela 20.

Como anteriormente referido, de acordo com Goda (2008), uma possível relação entre o período médio e o período máximo, traduz-se pela expressão (5). Através da expressão (5) procedeu-se ao cálculo do período máximo, obtendo-se os resultados presentes na Tabela 20.

Tabela 20 – Valores médios anuais dos parâmetros escalares da agitação marítima

Abordagem	H_s (m)	T_m (s)	$T_{m\acute{a}x}$ (s)
Registos totais	2.11	9.47	11.37
Meses equinociais	1.88	9.65	11.58
Situação de temporal	5.18	12.67	15.20

Dos registos fornecidos da boia de Leixões apenas constavam os valores relativos ao período de onda médio, como anteriormente referido. No entanto, para o cálculo da altura de espraçamento diversos autores referem que o espraio máximo depende quase exclusivamente das ondas com menor frequência, ou seja, maior período de onda (Ruggiero *et al.*, 2004).

Como seria de esperar, a situação de temporal é aquela que apresenta maiores valores médios dos parâmetros escalares da agitação marítima. No entanto, os valores obtidos através desta abordagem são bastante severos e superiores à média diária da agitação marítima. A título de exemplo, o valor obtido para a altura de onda significativa para condições de temporal é 2.35 vezes superior ao valor obtido por Costa *et al.* (2001), considerado por Teixeira (2009) no cálculo da altura de espraçamento para a costa ocidental de Portugal Continental. Considerando todos os registos, a altura de onda significativa é 12% superior ao valor calculado através da abordagem que considera somente os meses equinociais. O valor médio mensal do mês de março (2.14 m) é ligeiramente superior ao valor médio anual da altura de onda significativa (2.11 m), mas tal situação já não se verifica para o caso do mês de setembro, uma vez que o valor médio mensal é de 1.60 m.

A análise realizada recorrendo à totalidade dos registos, fornece um valor da altura de onda significativa bastante próximo do valor calculado por Costa *et al.* (2001). No entanto, no cálculo do período de onda médio e máximo, existem diferenças significativas (Tabela 21). Para o caso do período de onda médio, a diferente localização das boias ondógrafo parece ser o principal motivo que conduziu à discrepância de valores. No caso do período de onda máximo, uma vez que este parâmetro não foi calculado por Costa *et al.* (2001) mas fornecido a Teixeira (2009), não foi possível aceder a mais informações acerca desta evidência. Supondo que o valor do período de onda médio e máximo tenham sido obtidos a partir de dados da mesma estação ondógrafo, a relação entre estes dois valores é aproximadamente igual a 2.0, bem diferente da relação de 1.2 considerada por Goda (2008) e adotada no cálculo do período de onda máximo. O período relativamente curto de aquisição de dados, aproximadamente de seis anos, que conduziu a cerca de 62% de registos válidos associado à localização da boia ondógrafo, podem ser os principais fatores que levaram à obtenção de valores de período de onda médio e máximo tão distintos daqueles que foram calculados.

Tabela 21 – Comparação dos valores médios anuais dos parâmetros escalares da agitação marítima

Análise Realizada	H _s (m)	T _m (s)	T _{máx} (s)
Registos totais (Coelho, 2005)	2.11	9.47	11.37
Costa <i>et al.</i> (2001)	2.20	7.20	14.20 ^{a)}

a) Valor consultado em Teixeira (2009), fornecido por Mariana Costa do IH

De acordo com o que foi referido anteriormente, optou-se por escolher os valores calculados através da primeira abordagem, ou seja, a que considerava a totalidade dos registos efetuados (Tabela 21), como sendo os valores que definem os parâmetros de agitação marítima característicos do litoral de Aveiro.

5.1.2 Rumo da ondulação

Com base nos dados da boia ondógrafo de Leixões, procurou-se estabelecer qual o rumo da ondulação mais condicionante no cálculo da altura de espraçamento. De salientar, que dos dados consultados apenas constam registos referentes à direção da ondulação, a partir do ano de 1993. Foram analisados 20227 registos, sendo os anos de 1995 e de 2003, os anos que registaram menor e maior número de registos, respetivamente (Tabela 22).

Os vários registos foram agrupados em classes, de acordo com a direção da onda incidente, considerando-se intervalos de 22.50°, centrados na direção que dá o nome à classe. Desta forma, foi possível comparar os valores descritos por Barata *et al.* (1996) com os valores obtidos através da boia ondógrafo de Leixões. No trabalho desenvolvido por Barata *et al.* (1996), foram analisados registos com base em duas boias ondógrafos direcionais, colocadas nas proximidades do Cabo Mondego e da barra de Aveiro, durante os anos de 1990 a 1993 e 1992 a 1993, respetivamente.

Tabela 22 – Número de registos do rumo da ondulação, por ano e classe de proveniência

Ano	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	Outras Direções	Total
1993	2	6	8	7	21	70	292	117	0	0	523
1994	0	5	15	33	177	729	1102	249	2	1	2313
1995	0	0	0	0	5	52	88	50	0	0	195
1996	1	7	42	63	174	553	729	284	2	1	1856
1997	0	19	32	70	298	757	684	213	0	0	2073
1998	2	17	58	33	140	764	1250	261	0	0	2525
1999	4	10	27	37	150	872	1260	390	0	0	2750
2000	0	4	16	26	58	349	463	157	0	0	1073
2001	0	8	15	16	107	452	609	230	1	5	1443
2002	0	7	38	39	207	987	924	251	0	0	2453
2003	5	12	44	57	226	1273	1163	236	1	6	3023
Total	14	95	295	381	1563	6858	8564	2438	6	13	20227

Na Figura 22 é evidente a predominância do quadrante noroeste, com cerca de aproximadamente 92% dos registos a localizarem-se no intervalo entre 0.0° e 90.0°. O sector NW é o mais representativo, com 42.34% dos registos, seguido do sector WNW com 33.91% e do sector NNW com 12.05%. A soma dos restantes sectores não chega a atingir 12% dos registos. Comparando estes registados com os resultados de Barata *et al.* (1996), são notórias as semelhanças. Segundo Barata *et al.* (1996), a direção média do período de pico na boia do Cabo Mondego, a frequência de ocorrência de rumos do sector NW é próximo de 45% e o conjunto dos quadrantes NNW, NW e WNW ultrapassam os 90% de ocorrências. Considerando os resultados da boia ondógrafo presente na barra, estes são menos fiáveis, uma vez que correspondem a um período de registos relativamente curto, e a boia foi colocada a menores profundidades, onde os efeitos de refração se fazem sentir. No entanto, apesar destas duas condicionantes, verificaram-se resultados semelhantes, apresentando um aumento de ocorrências no sector de NW.

Os sectores NW, WNW e NNW são os sectores com maior número de registos, o que resulta nos sectores com maior peso na direção da ondulação e consequentemente os sectores com as direções mais condicionantes no cálculo da altura de espraçamento.

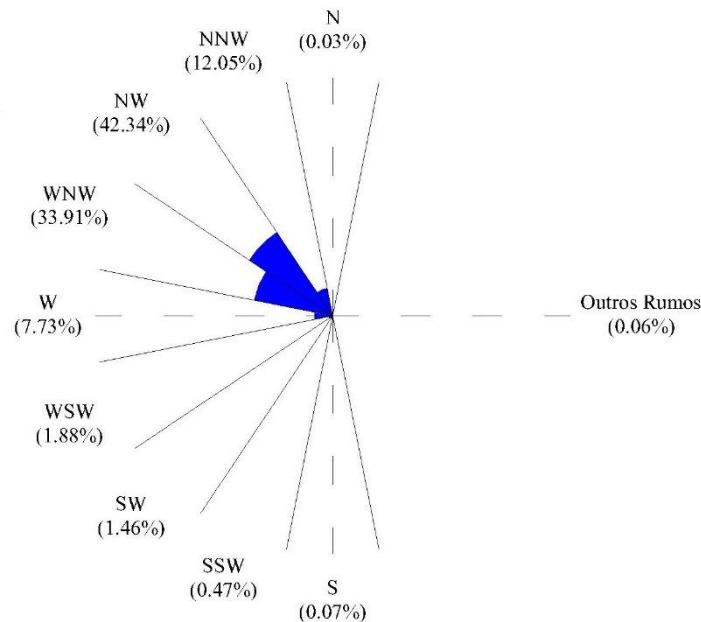


Figura 22 – Rosa de rumos com a representação das classes de direção de ondulação (dados do IH para a boia de Leixões, recolhidos entre 1993 e 2003, adaptado de Coelho, 2005).

Identificados os três sectores com maior número de registos (NW, WNW e NNW), procedeu-se ao tratamento estatístico dos registos da altura de onda significativa e do período de onda médio de cada um dos sectores, de forma a apurarem-se os valores característicos

para cada rumo da ondulação, tendo-se obtido os valores presentes na Tabela 23. De salientar que os valores do período de onda máximo foram novamente obtidos a partir da expressão (5), utilizando os valores do período de onda médio registados para cada um dos sectores.

Tabela 23 – Parâmetros da agitação marítima para os sectores mais representativos

Rumo	H_s	T_m	$T_{máx}$
NW	2.26	9.71	11.65
WNW	2.39	10.13	12.15
NNW	1.64	7.96	9.55

Contabilizaram-se 17860 registos, para os três rumos mais representativos. Deste total, cerca de 1266 registos (7.09%), apenas contém informação acerca da direcção da onda, não apresentando qualquer informação referente à altura de onda significativa e período de onda médio.

Os resultados presentes na Tabela 23 permitem verificar que o rumo WNW é aquele que apresenta parâmetros da agitação marítima mais condicionantes, sendo o rumo NW aquele que se posiciona imediatamente a seguir e por fim o rumo NNW. Na Figura 22, verifica-se que o rumo NW é aquele com maior percentagem de registos. No entanto, o valor da altura de onda significativa e do período de onda máximo, para o rumo de WNW, são cerca de 5% maiores do que os respetivos valores da altura de onda significativa e do período de onda máximo para o rumo NW. Embora o sector WNW seja aquele que apresenta valores de agitação marítima mais condicionantes, em comparação com o sector NW, a superioridade de apenas 5% face aos valores dos mesmos parâmetros para o sector NW, não é argumento suficiente para ser considerando o sector predominante para o rumo da ondulação. De acordo com o que foi descrito e apresentado anteriormente, optou-se por considerar o sector NW como o sector predominante para o rumo da ondulação.

5.2 Declive

Durante os anos 30 do século XX, ter-se-ão iniciado os estudos sobre a inclinação da face da praia, mas apenas nas décadas de 60 e 70 se começaram a estudar os principais fatores responsáveis pelas variações do pendor da praia (Ferreira, 1998). De acordo com Komar (1976), o parâmetro que mais influencia o declive da praia é a granulometria, ocorrendo um incremento no pendor com o aumento da dimensão granulométrica. Para além da granulometria, outros fatores como as propriedades da onda, o lençol freático da praia, o nível da maré e a velocidade da corrente longilitoral influenciam o declive das praias (Sunamura, 1984).

Perante a influência de vários parâmetros na definição do declive das praias, aliada à ação permanente da agitação marítima sobre a praia, torna-se difícil quantificar o declive característico para um determinado perfil de praia. Uma vez que o declive é um parâmetro de elevada importância no cálculo da altura de espraçamento, como se verificou no Capítulo 4, optou-se por definir o declive ao longo de todo o litoral de Aveiro através de perfis distanciados de 250 m entre si, ao invés de se considerar somente um valor característico que representasse todo o litoral de Aveiro.

Não tendo sido possível aceder a levantamentos topográficos do litoral de Aveiro, foi através do *software Google Earth* e das ferramentas disponibilizadas pelo mesmo *software*, que se procedeu ao levantamento aproximado das cotas necessárias para se efetuar o cálculo do declive para cada perfil. Desta forma, procedeu-se à divisão de toda a faixa litoral de Aveiro em trechos de 250 m em 250 m, resultando um total de 225 perfis. Considerou-se o quilómetro 0 km o ponto mais a norte (limite norte do concelho de Espinho) e o quilómetro 56 km o ponto mais a sul (limite sul do concelho de Vagos). A Figura 23 representa a faixa litoral entre o quilómetro 13 km e o quilómetro 14 km e exemplifica os vários perfis considerados ao longo de toda a faixa litoral.

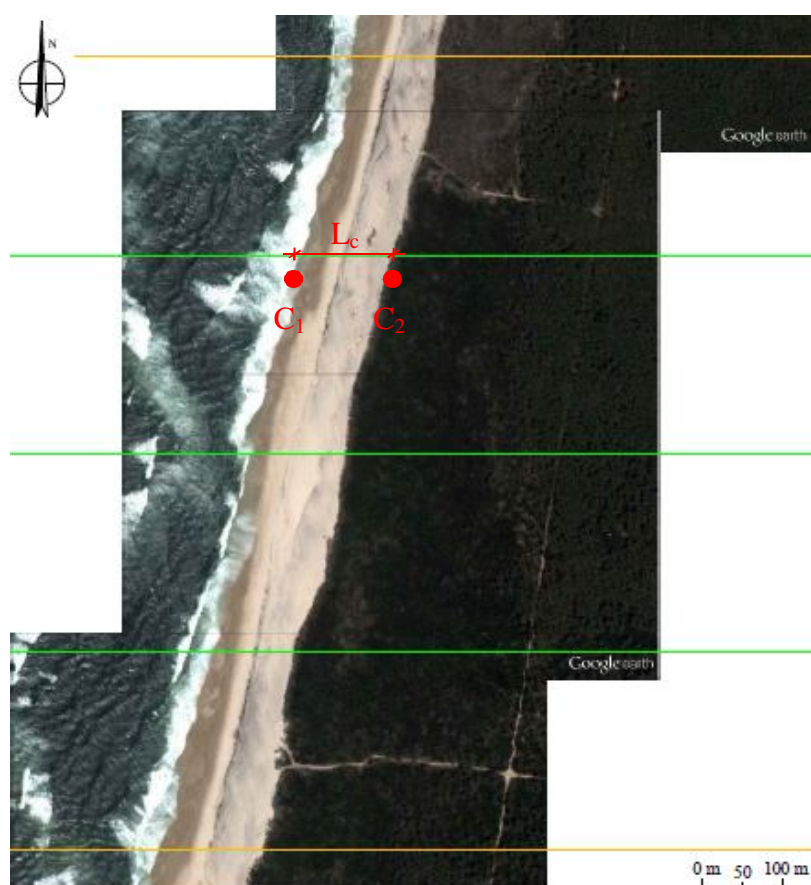


Figura 23 – Parte do trecho do litoral de Aveiro, com a identificação da posição de vários perfis transversais, espaçados de 250 m

Para cada perfil procurou-se, sempre que possível, avaliar a cota C_1 junto da zona limite entre a água do mar e o terreno (linha de costa associada ao nível médio da superfície da água do mar), e avaliar uma segunda cota no limite da extensão de toda a praia, ou na base das dunas (cota C_2). Ao mesmo tempo, a distância entre os pontos de leitura das cotas C_1 e C_2 também foi medida (L_c).

Na definição do declive foi assumido um declive uniforme ao longo de todo o perfil. Para além desta situação, a leitura de cotas no *Google Earth* apresenta incerteza, aumentando desta forma a imprecisão do cálculo do declive.

Obtiveram-se diferentes valores de declive para os diversos perfis em estudo. O valor máximo (6.53%) foi registado entre Cortegaça e Furadouro, mais concretamente na zona da Maceda, concelho de Ovar, e o valor mínimo (0.24%) foi registado entre a Costa Nova e a Vagueira, mais precisamente, na proximidade da fronteira sul da freguesia da Gafanha do Carmo, concelho de Ílhavo. O valor médio do declive verificado, considerando todos os perfis, foi de 1.83%.

5.2.1 Batimetria

A influência da batimetria no cálculo da altura de espraçamento é apenas considerada na formulação nº 3, através do parâmetro ΔX .

À semelhança do que se considerou para o declive, de forma a avaliar-se o valor a considerar para ΔX , optou-se por calcular a distância horizontal da linha de costa até à linha batimétrica -15 m para cada um dos perfis considerados. Para estimar o valor adequado recorreu-se à informação batimétrica disponibilizada em SNIRH (2013). O mapa batimétrico disponibilizado em SNIRH (2013) para o litoral de Aveiro, apenas contém as linhas batimétricas 0 m, 10 m e 20 m, pelo que se considerou o ponto médio entre as linhas batimétricas -10 m e -20 m. Com a definição da linha batimétrica -15 m, foi possível para cada perfil, calcular o valor do parâmetro ΔX . A distância máxima que se verificou foi de 4.60 km e a mínima de 2.25 km. A distância média, considerando os vários perfis, foi de 3.29 km.

5.3 Granulometria

De entre as primeiras análises granulométricas realizadas no litoral Aveirense, está o estudo realizado por Pureza e Araújo (1956a, 1956b), com amostras de cinco praias localizadas entre Aveiro e o Cabo Mondego. Para cada praia foi calculada a média dos dois

conjuntos de amostras recolhidas na zona situada entre a maré alta e a maré baixa. Os diâmetros médios obtidos variaram entre 0.62 mm e 0.74 mm, com uma média de 0.67 mm.

De acordo com o trabalho produzido por Hidrotécnica Portuguesa, referido em Teixeira (1994), resultante de uma campanha realizada no inverno de 1979, o diâmetro médio total de 42 amostras recolhidas entre Espinho e o Cabo do Mondego foi de 0.64 mm. Para a área a sul de Aveiro os valores da média granulométrica variaram entre aproximadamente 0.52 mm e 1.32 mm, sendo o valor médio de 0.71 mm.

Segundo Ferreira (1993), a análise de sete amostras de praias entre Costinha e Vagueira, resultaram num valor médio de 0.55 mm. Num estudo realizado entre a Praia de Mira e a Vagueira, Pinto (1993) refere que a face da praia contém geralmente areias muito grosseiras a grosseiras, variando o diâmetro médio entre 0.48 mm e 1.16 mm, sendo as amostras analisadas bem a moderadamente calibradas e aproximadamente simétricas.

Entre fevereiro de 2003 e junho de 2004, Coelho (2005) efetuou várias campanhas ao longo do trecho da costa do distrito de Aveiro, recolhendo várias amostras em períodos de baixa-mar, na zona entre marés. As amostras foram recolhidas em vinte locais diferentes, oito entre Esmoriz e o Furadouro, no norte do distrito de Aveiro e doze entre as praias da Barra e do Areão. Verificou-se uma grande dispersão de resultados na dimensão das areias no distrito de Aveiro. A campanha de outubro de 2003 foi a que registou menor dispersão de valores, com valores de d_{50} entre 0.26 mm e os 0.65 mm. A campanha de junho de 2003 foi a que revelou maior irregularidade de resultados ao longo da costa, com os valores para o diâmetro médio das amostras a variarem entre 0.29 mm e 3.14 mm. Ainda segundo o mesmo autor, a média dos diâmetros médios dos 20 locais foi em fevereiro de 2003 de 0.54 mm, em junho de 2003 de 0.84 mm, 0.47 mm em outubro de 2003, 0.60mm em fevereiro de 2004 e em junho de 2004 de 0.77 mm.

A sul do quebramar sul da Barra, foi a zona onde se encontrou maior uniformidade de resultados, uma vez que os resultados se mantiveram praticamente constantes ao longo do tempo. Também para as zonas localizadas a sotamar de estruturas de defesa costeira, se verificou maior uniformidade dos registos.

De uma forma geral, a região norte, entre Esmoriz e o Furadouro, verificou-se menores variações ao longo do tempo. As grandes variações foram registadas na região da Vagueira, onde nas duas primeiras campanhas realizadas, assim como na campanha de junho de 2004, se obtiveram resultados de areia de grandes dimensões.

Em Fonseca (2011) procedeu-se à caracterização granulométrica da praia da Barra através da recolha de várias amostras entre outubro de 2010 e maio de 2011. Foram definidos três alinhamentos, onde se procedeu à recolha das amostras, em cinco pontos distintos. Os pontos de recolha correspondem sensivelmente a (Figura 24):

P1 – base da duna;

P2 – limite máximo do espraio da onda, em preia-mar (PM);

P3 – limite máximo do espraio da onda, em baixa-mar (BM);

P4 – 1 metro de profundidade, em baixa-mar;

P5 – 3 metros de profundidade, em baixa-mar.

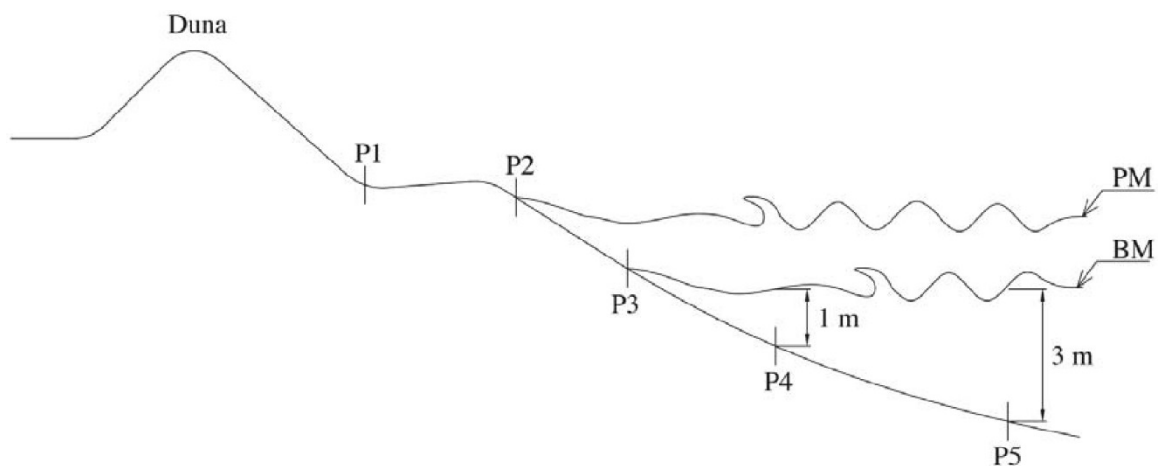


Figura 24 – Identificação da localização dos pontos de recolha de areia, ao longo do perfil transversal (Fonseca, 2011)

Segundo Fonseca (2011), os pontos interiores do perfil transversal, P3 e P4, apresentam uma maior variabilidade de dimensão, com uma gama que vai desde as areias médias até ao seixo médio. P1, P2 e P5 apresentam granulometrias apenas na gama das areias (Tabela 24).

Tabela 24 – Frequência de ocorrência do tipo de solo, nos diferentes pontos do perfil transversal (adaptado de Fonseca, 2011)

Ponto	Nº de Registos	Areia			Seixo	
		Fina	Média	Grossa	Fino	Médio
		$0.06 < d_{50} \leq 0.2$	$0.2 < d_{50} \leq 0.6$	$0.6 < d_{50} \leq 2$	$2 < d_{50} \leq 6$	$6 < d_{50} \leq 20$
P1	33	3%	97%	-	-	-
P2	33	-	79%	21%	-	-
P3	33	-	33%	55%	9%	3%
P4	33	-	55%	30%	12%	3%
P5	33	-	97%	3%	-	-
Total	164	1%	72%	22%	4%	1%

De acordo com a Figura 24, consideraram-se os pontos P3 e P4 como sendo os pontos representativos para a zona de espraio e para a zona de rebentação, respetivamente. Utilizando os valores presentes na Tabela 24 do diâmetro médio dos registos realizados para os pontos P3 e P4, calculou-se, através de uma média ponderada, os valores da dimensão média do sedimento na zona de espraio e na zona de rebentação, referentes aos pontos P3 e P4. Obtiveram-se os valores de 1.48 mm e 1.60 mm para a dimensão média do sedimento na zona de espraio e na zona de rebentação, respetivamente. Estes mesmos valores foram adotados como os valores característicos para todo o litoral do distrito de Aveiro e utilizados para calcular a altura de espraçamento através da formulação nº 12.

5.4 Características das Estruturas Costeiras

No caso específico das estruturas costeiras, foi necessário definir o declive e respetivos coeficientes de redução característicos. Recorrendo ao projeto das obras de melhoria das condições de abrigo nos cais do sector comercial e de manutenção do canal de acesso ao porto da Figueira da Foz, verificou-se que o declive existente da estrutura costeira era de 3:2 (H:V). Dos vários perfis transversais definidos no litoral de Aveiro, apenas oito intercetam estruturas costeiras. De forma a seguir o raciocínio adotado para as praias naturais, consideraram-se oito diferentes declives (24.58%, 32.28%, 46.52%, 59.00%, 64.56%, 67.70%, 69.70% e 71.10%), aplicando-se para cada um deles as diferentes formulações indicadas para estruturas costeiras, de forma a produzirem diferentes alturas de espraçamento. Posteriormente, para o cálculo da altura de espraçamento para estruturas costeiras, através da formulação característica para o litoral de Aveiro, considerou-se o declive de 3:2 (H:V), ou 59.00%, para todas as estruturas costeiras.

Os valores adotados para o coeficiente de redução tiveram em consideração as características e condicionantes abordadas na secção 4.8. Para o coeficiente de redução de rugosidade da superfície do talude, teve-se em consideração os valores presentes na Tabela 16, e considerou-se para as estruturas costeiras, uma superfície lisa revestida com blocos. Para estas características, de acordo com a mesma tabela, corresponde um coeficiente de redução de rugosidade da superfície do talude de valor igual a 1.00.

No que se refere ao coeficiente de redução da berma de pré-rebentação, considerou-se a inexistência de bermas, assumindo desta forma, à semelhança do coeficiente de redução de rugosidade da superfície do talude, o valor unitário.

Para se calcular o coeficiente de redução da obliquidade da onda, considerou-se o facto de se ter verificado que o rumo NW era o sector com maior percentagem de registos (Figura 22),

e como tal o sector de onde provêm a maioria das ondas que incidem nas estruturas costeiras. Por este motivo considerou-se o ângulo entre a direção da onda incidente e o eixo perpendicular à estrutura costeira de 45° . Através da expressão (23) procedeu-se ao cálculo do coeficiente de redução da obliquidade da onda obtendo-se um valor de 0.90.

Por último, o coeficiente de redução de profundidade tem em consideração a profundidade e a altura de onda. De acordo com o projeto das obras de melhoria das condições de abrigo nos cais do sector comercial e de manutenção do canal de acesso ao porto da Figueira da Foz, considerou-se uma profundidade de 11 m. O quociente entre a profundidade e a altura de onda significativa característica é superior a 4, pelo que o coeficiente de redução de profundidade assume o valor unitário, tal como descrito na seção 4.8.4.

5.5 Formulações Características

Na definição das formulações características do litoral do distrito de Aveiro, foi distinguido o tipo de fronteira costeira, ao contrário do trabalho desenvolvido por Teixeira (2009), onde foi obtida uma única expressão para calcular a altura de espraçamento independentemente da fronteira costeira encontrada. Devido às diferenças evidentes entre as praias naturais e as estruturas costeiras, e uma vez que se verificou a presença de estruturas costeiras ao longo do litoral do distrito de Aveiro, optou-se por desenvolver duas formulações de cálculo da altura de espraçamento: uma formulação para as praias naturais e outra para estruturas costeiras.

Utilizando os parâmetros definidos anteriormente, procedeu-se ao cálculo da altura de espraçamento para cada um dos 225 perfis considerados. Para as praias naturais aplicaram-se as 31 formulações para cada um dos 217 perfis e obtiveram-se os respetivos valores da altura de espraçamento. Utilizou-se o mesmo procedimento para a situação das estruturas costeiras, variando apenas o número de formulações utilizadas (28) e o número de perfis, apenas 8. Para a situação das estruturas costeiras excluiu-se a formulação nº 51 uma vez que os valores da altura de espraçamento calculada apresentavam uma elevada discrepância em relação aos valores calculados pelas outras formulações.

Porque as várias formulações estimam diferentes níveis de espraio, procurou-se relacionar os diferentes níveis de espraio com o nível de espraio máximo. Para as praias naturais, perante a ausência de informação bibliográfica que fornecesse as várias relações necessárias, recorreu-se às várias formulações recolhidas, presentes nas Tabelas 1, 2 e 3. Procurou-se essencialmente formulações de diferentes níveis de espraio, com a mesma estrutura e do mesmo autor, de forma a relacionarem-se através do quociente entre os diferentes

coeficientes. Recorrendo às formulações de Holman (1986), CERC (1995), e Nielsen e Hanslow (1991) foi possível relacionar os diferentes níveis de espraio com o nível de espraio máximo. Inicialmente recorrendo às formulações nº 18 e nº 19, estabeleceu-se a relação entre o nível de espraio máximo e o nível de espraio excedido por 2% das ondas. Partindo desta relação e utilizando as formulações nº 44, nº 45 e nº 47 obteve-se as respectivas relações para o nível de espraio significativo, excedido por 5% das ondas e excedido por 1% das ondas. Através de método análogo recorreu-se às formulações nº 53 e nº 54 e obteve-se as relações para o nível de espraio excedido por 50% das ondas e nível de espraio médio. A Tabela 25 resume as diferentes relações estabelecidas entre os vários níveis de espraio e o nível de espraio máximo, para praias naturais.

Tabela 25 – Relação entre os diferentes níveis de espraio para praias naturais

$R_{m\acute{a}x}$	$R_{1\%}$	$R_{2\%}$	$R_{5\%}$	R_s	R_m	$R_{50\%}$
1.00	0.93	0.86	0.76	0.58	0.39	0.36

Para a situação das estruturas costeiras, optou-se por utilizar uma metodologia ligeiramente diferente da considerada para as praias naturais. De acordo com as relações entre os diferentes níveis de espraio estabelecidas por Grune e Wang (2000), presentes na Tabela 15, apenas foi necessário estabelecer relações para o nível de espraio excedido por 0.13% das ondas, excedido por 1% das ondas e o nível de espraio médio, uma vez que se adotaram as relações estabelecidas por Grune e Wang (2000) para os restantes níveis de espraio. Sendo conhecida a relação entre o nível de espraio máximo e o nível de espraio excedido por 2% das ondas, através de interpolação foi possível calcular e definir a relação entre o nível de espraio máximo e os níveis de espraio excedido por 0.13% das ondas e excedido por 1% das ondas. No caso específico do nível de espraio médio, uma vez que se tratava de um nível de espraio extremo, ou seja, com alturas de espraçamento inferiores a todos os outros níveis de espraio, não foi possível interpolar e definir a relação entre este nível de espraio e o nível de espraio máximo. Assim, optou-se por seguir a metodologia utilizada anteriormente no caso das praias naturais, e de acordo com a formulação nº 34 (Van der Meer e Stam, 1992), presente na Tabela 2, foi possível estabelecer a relação entre o nível de espraio máximo e o nível de espraio médio. A Tabela 26 apresenta as diferentes relações consideradas entre os diferentes níveis de espraio e o nível de espraio máximo, para estruturas costeiras.

Tabela 26 – Relação entre os diferentes níveis de espraio para estruturas costeiras

$R_{m\acute{a}x}$	$R_{0.13\%}$	$R_{1\%}$	$R_{2\%}$	$R_{5\%}$	$R_{10\%}$	R_s	R_m
1.00	0.99	0.92	0.85	0.79	0.71	0.68	0.35

Definidos os parâmetros característicos do distrito de Aveiro e estabelecidas as relações entre níveis de espraio, procedeu-se ao cálculo da altura de espraio para os vários perfis considerados e representou-se graficamente esses mesmos valores, através de dois gráficos: um para praias naturais e outro para estruturas costeiras (Figuras 25 e 26). Ambos os gráficos traduzem a relação entre a altura de espraio, os parâmetros escalares da ondulação ao largo e a inclinação da fronteira costeira.

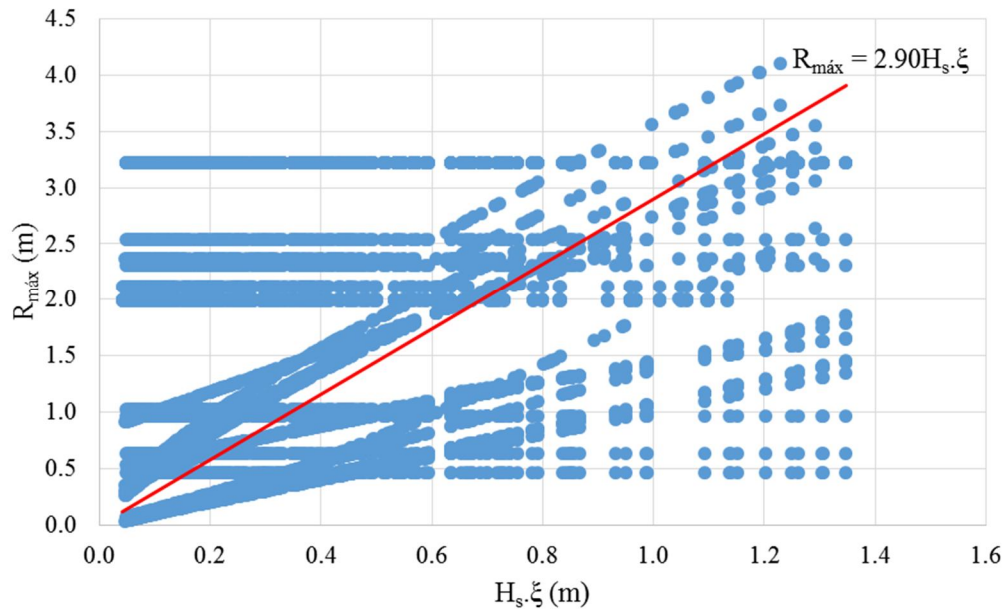


Figura 25 – Nível de espraio obtido para praias naturais do distrito de Aveiro, de acordo com as diferentes formulações

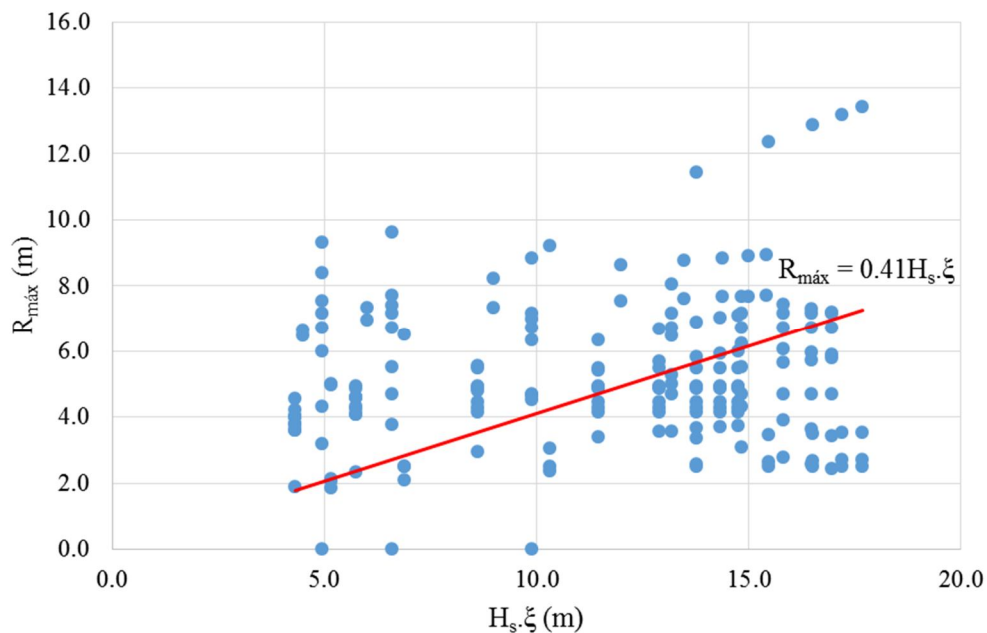


Figura 26 – Nível de espraio para estruturas costeiras do distrito de Aveiro, de acordo com as diferentes formulações

Procedeu-se a uma aproximação linear, para estimar a equação que melhor se ajusta aos pontos obtidos como resultado das diversas expressões. Uma vez que a inexistência de ondas não originará espraçamento, considerou-se que para uma altura de onda nula corresponde uma altura de espraçamento também nula.

Para praias naturais e estruturas costeiras obtiveram-se as expressões gerais (27) e (28), respetivamente. Devido à grande dispersão de resultados, ambas as expressões apresentam baixo coeficiente de correlação (r) e consequentemente baixo coeficiente de determinação (R^2). A fraca relação obtida entre as variáveis justifica-se com a heterogeneidade dos resultados, uma vez que as várias formulações dependem de diferentes parâmetros e são estruturadas de forma diferente umas das outras, produzindo a dispersão de valores para a altura de espraçamento. Para a expressão (27) obteve-se um coeficiente de correlação de 0.21 e um coeficiente de determinação de 4%, enquanto para a expressão indicada para as estruturas costeiras os valores obtidos foram de 0.15 e 2%, respetivamente.

$$R_{máx} = 2.90 H_s \cdot \xi \quad (27)$$

$$R_{máx} = 0.41 H_s \cdot \xi \quad (28)$$

Substituindo nas expressões (27) e (28) os parâmetros característicos do distrito de Aveiro referentes à agitação marítima, presentes na Tabela 21, obtiveram-se as expressões características para o litoral do distrito de Aveiro, a expressão (29) para praias naturais e a expressão (30) para estruturas costeiras.

$$R_{máx} = 59.80 \tan(\beta) \quad \text{para } 0.24\% \leq \beta \leq 6.53\% \quad (29)$$

$$R_{máx} = 8.49 \tan(\beta) \quad \text{para } 24.58\% \leq \beta \leq 71.10\% \quad (30)$$

Com base nas expressões (29) e (30) procedeu-se ao cálculo das alturas de espraçamento em função do declive de cada perfil e avançou-se para a representação sobre fotografia aérea da LMPMAVE e do limite terrestre do DPM, para todo o litoral do distrito de Aveiro, desenvolvido no Capítulo 6.

Capítulo 6

REPRESENTAÇÃO EM MAPA

6 REPRESENTAÇÃO EM MAPA

Nos últimos anos, foram desenvolvidos estudos com o objetivo de ultrapassar a grande dificuldade na marcação da LMPMAVE no terreno. Entre esses estudos destacam-se, por ordem cronológica, Teixeira (2009), Martinho *et al.* (2010), ARH Centro (2011) e Rilo *et al.* (2012), realizados para o litoral sul do Algarve, para o sudoeste Alentejano e costa Vicentina, para sistemas lagunares, estuários e lagoas costeiras do litoral centro, e para o estuário do Tejo, respetivamente. Desses estudos resultaram alguns mapeamentos da LMPMAVE e consequente demarcação física do leito e da margem. A representação sobre fotografia aérea que se pretende realizar é semelhante aos mapeamentos resultantes dos estudos mencionados. Na Figura 27 pode-se visualizar um exemplo de mapeamento realizado num desses estudos.



Figura 27 – Exemplo de mapeamento da LMPMAVE (Teixeira, 2009)

Teixeira (2009) identificou que a oscilação natural da morfologia das praias levanta, desde logo, o problema da definição da escala temporal a considerar para a análise da flutuação da LMPMAVE. Nos termos exatos da definição da LMPMAVE, essa linha corresponde à linha impressa no areal durante a máxima preia-mar equinocial quando o litoral estiver submetido a condições de agitação média do mar. Face à fraca probabilidade de ocorrerem em simultâneo estas condições naturais, definidas pela Lei n.º 54/2005 (DR, 2005), a solução para a definição da LMPMAVE terá necessariamente de assentar em aproximações, tanto mais realistas quanto possível, de que resultará a definição de uma linha convencional, que deverá refletir o espírito e os objetivos da Lei n.º 54/2005 (DR, 2005). Apesar desta série de condicionantes, a observação direta pode fornecer informação relevante, tendo em consideração o pressuposto óbvio que a LMPMAVE deve ser marcada para além de qualquer linha de maré impressa no areal sob condições de agitação igual ou inferior à agitação média,

durante uma preia-mar de cota igual ou inferior à máxima preia-mar de águas vivas equinociais.

6.1 Metodologia

No capítulo anterior foram apresentadas soluções que associam o posicionamento da LMPMAVE de um determinado perfil a uma cota, variável em função do declive da praia ou da estrutura costeira. De forma a iniciar-se a representação da LMPMAVE e do DPM e, como anteriormente referido, não tendo sido possível aceder a levantamentos topográficos do litoral de Aveiro, procedeu-se ao levantamento de imagens aéreas de todo o litoral do distrito de Aveiro, através do *software Google Earth*. As imagens recolhidas datam de 2007, 2010, 2011 e 2012. No caso das zonas ocupadas por estruturas costeiras, o comportamento estático das estruturas ao longo do tempo não provoca problemas, mas para as zonas com praias naturais, o fator temporal representa um problema face à dinâmica natural que caracteriza as praias. As mesmas imagens foram recolhidas considerando sempre uma altitude de visualização de 582 m e uma escala gráfica de 135 m, de acordo com a informação disponibilizada pelo *Google Earth*. Posteriormente, as imagens recolhidas, um total de 180 imagens, foram transferidas para o *AutoCAD* de forma sequencial, de forma a definirem todo o litoral do distrito de Aveiro, como demonstra a Figura 28, onde se representam duas dessas imagens.



Figura 28 – Exemplo da junção de duas imagens do litoral do distrito de Aveiro

Utilizando a divisão de toda a faixa litoral de Aveiro em trechos de 250 m em 250 m, anteriormente realizada no levantamento das cotas necessárias para se efetuar o cálculo do declive para cada perfil (Figura 23), considerou-se novamente o quilómetro 0 km o ponto

mais a norte (limite norte do concelho de Espinho) e o quilómetro 56 km o ponto mais a sul (limite sul do concelho de Vagos).

À semelhança daquilo que Teixeira (2009) considerou no seu trabalho para o litoral sul do Algarve, para todo o litoral de Aveiro considerou-se também que a cota da máxima preia-mar de águas vivas equinociais (MPMAVE) é constante ao longo da frente de mar do litoral de Aveiro e corresponde à cota +4.0 m (ZH), equivalente à curva de nível de cota +2.0 m (NMM) referida ao zero topográfico. Para cada um dos perfis considerados anteriormente, recorrendo à ferramenta *Google Earth*, procedeu-se à identificação dos pontos de cota +4.0 m (ZH) e à respetiva marcação sobre fotografia aérea.

A marcação sobre fotografia aérea dos pontos de cota +4.0 m (ZH) originou uma primeira aproximação da curva de nível +2.0 m (NMM). No entanto, o conhecimento do terreno obrigou à realização de alguns ajustes na linha. Exemplo disso são as seis imagens apresentadas na Figura 29, onde é possível verificar várias inconformidades entre a representação gráfica da curva de nível +2.0 m (NMM) e o terreno existente na zona litoral:

- Inconformidade 1: a curva de nível +2.0 m (NMM) localizava-se no interior das águas do mar, sendo a fronteira costeira constituída por uma praia natural. Esta situação foi verificada em várias zonas ao longo da faixa litoral. Para estas situações considerou-se que a curva de nível +2.0 m (NMM) se posicionava na zona limite entre a água do mar e a praia;

- Inconformidade 2: a curva de nível +2.0 m (NMM) distanciava-se bastante da costa, chegando a distanciar alguns quilómetros. Esta situação verificou-se para as zonas de menor altitude, como a zona da Torreira, Barra e Costa Nova. Para a situação específica da Torreira, considerou-se que a curva de nível +2.0 m (NMM) se posicionava num ponto intermédio por aproximação de outros dois pontos lidos nos perfis vizinhos, um mais a norte e outro a sul. Para as zonas da Barra e Costa Nova, considerou-se que a curva de nível +2.0 m (NMM) se posicionava na zona limite entre a água do mar e a praia;

- Inconformidade 3: a curva de nível +2.0 m (NMM) localizava-se no interior das águas do mar, sendo a fronteira costeira constituída por uma estrutura costeira. Esta situação foi verificada ocasionalmente. Para estas situações considerou-se que a curva de nível +2.0m (NMM) se posicionava aproximadamente a meio do talude da estrutura de defesa costeira, contabilizando-se desta forma a influência das estruturas costeiras no traçado da LMPMAVE;

- Inconformidade 4: verificou-se que perante uma fronteira costeira constituída por uma estrutura costeira, a curva de nível +2.0 m (NMM) se posicionava a este da mesma estrutura. Verificou-se esta situação na entre Espinho e Esmoriz, mais precisamente na zona de

Paramos. Para estas situações considerou-se, novamente, que a curva de nível +2.0m (NMM) se posicionava aproximadamente a meio do talude da estrutura de defesa costeira;

- Inconformidade 5: a curva de nível +2.0 m (NMM) localizava-se no interior das águas do mar, sendo a fronteira constituída por uma pequena extensão de areal e logo de seguida uma estrutura costeira. Verificou-se esta situação na Cortegaça e considerou-se que a curva de nível +2.0m (NMM) se posicionava aproximadamente a meio do talude da estrutura costeira;

- Inconformidade 6: para uma fronteira costeira constituída por uma praia natural, seguida de uma estrutura costeira, verificou-se que a curva de nível +2.0 m (NMM) se posicionava para além da mesma estrutura, no sentido do terreno. De forma a ultrapassar esta inconformidade considerou-se, uma vez mais, que a curva de nível +2.0m (NMM) se posicionava aproximadamente a meio do talude da estrutura de defesa costeira.

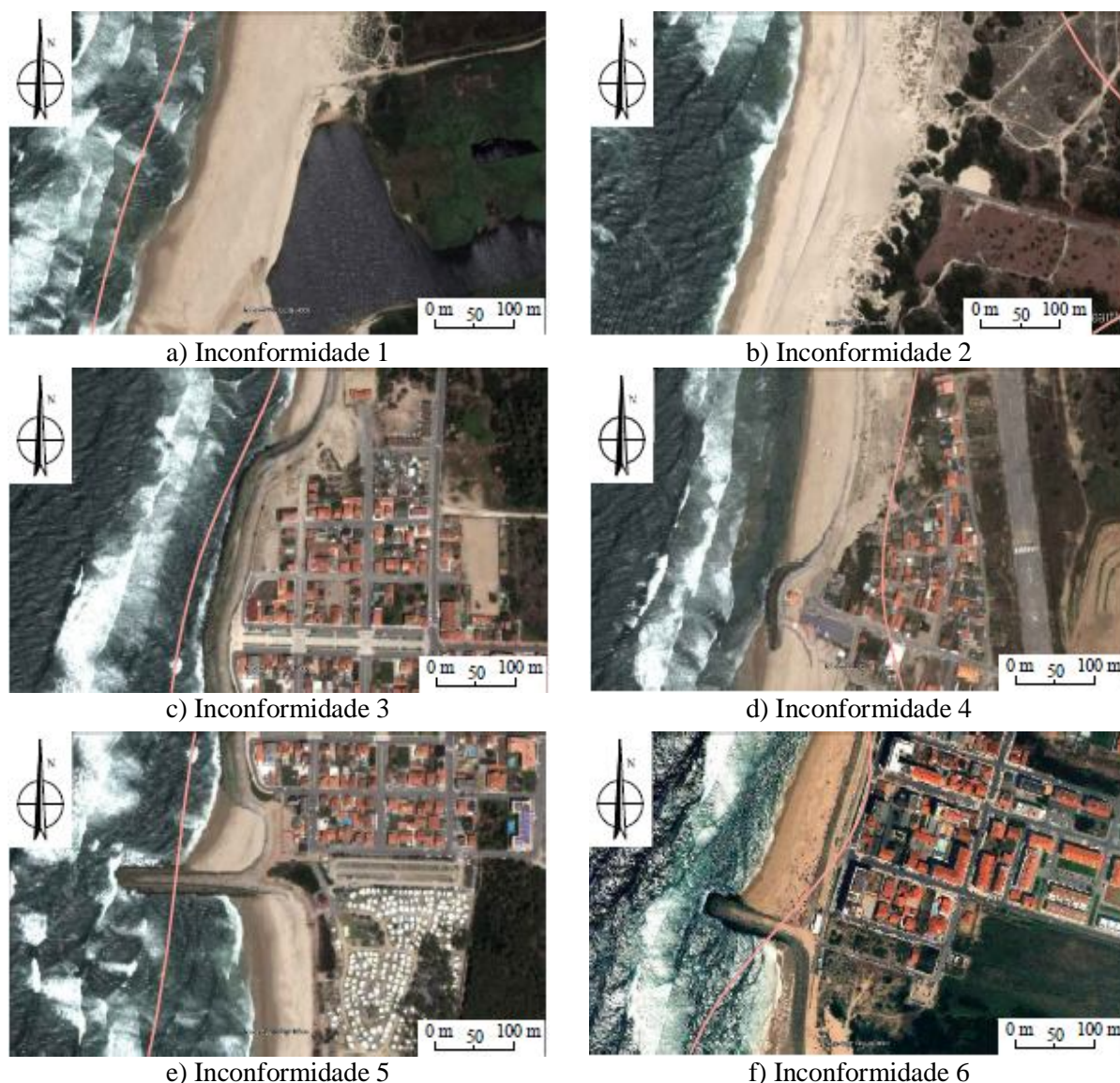


Figura 29 – Inconformidades registadas na primeira aproximação da curva de nível para a cota +2.0 m (NMM)

De acordo com as inconformidades registadas, verificou-se que a primeira aproximação da curva de nível +2.0 m (NMM) não teve em conta a presença das várias estruturas de defesa costeira, presentes ao longo da faixa litoral.

Após as correções referidas, limitaram-se as variações bruscas da linha em planta (sempre menores que 55 m entre perfis vizinhos) nas zonas onde a curva de nível +2.0 m (NMM) foi alvo de correções relacionadas com as inconformidades registadas.

Após correção e suavização da curva de nível +2.0 m (NMM), procedeu-se ao traçado da LMPMAVE. No traçado da LMPMAVE no terreno, optou-se pela utilização de dois métodos, designados de método simplificado (1) e método elaborado (2).

O método simplificado consistiu em assumir que o declive para cada perfil identificado ao longo de todo o litoral seria constante. Uma vez que no capítulo anterior se calculou o declive de cada perfil, conhecida a altura de espraçamento, calculou-se a distância horizontal até ao ponto onde se iria atingir a cota de posicionamento da LMPMAVE para cada perfil. Com recurso ao *software AutoCAD*, procedeu-se ao traçado da LMPMAVE e definiu-se esta linha como LMPMAVE (1).

O método elaborado considera que o declive para cada perfil varia de uma forma irregular. Para a obtenção das cotas dos vários pontos que definiram a LMPMAVE, foram lidas as cotas do terreno de cada um dos perfis, através do *Google Earth*, e foi marcado sobre fotografia aérea o ponto equivalente à cota anteriormente lida. Recorrendo novamente a ferramentas disponibilizadas pelo *software AutoCAD*, procedeu-se ao traçado da LMPMAVE e definiu-se esta linha como LMPMAVE (2).

Após a representação das LMPMAVE (1) e (2), a LMPMAVE (1) não foi alvo de ajustamentos, correspondendo a uma linha paralela à curva de nível +2.0 m (NMM), deslocada 59.76 m para este. A LMPMAVE (2) foi alvo de correções, uma vez que em determinados perfis, as cotas obtidas desajustavam-se daquilo que era a realidade no terreno. Para estas situações, à semelhança daquilo que se realizou para a curva de nível +2.0 m (NMM), aplicou-se o critério de suavização. Também se considerou que:

- A LMPMAVE (2) nunca dista menos de 8.48 m de estruturas costeiras;
- Nas zonas da Costa Nova e Barra, uma vez que as cotas da LMPMAVE (2) se distanciavam bastante da linha de costa, posicionando-se na sua maioria em terrenos para além da Ria de Aveiro, considerou-se nestes pontos a LMPMAVE (2) junto à base das dunas;
- Sempre que se verificou o tipo de inconformidade nº 1 para a curva de nível +2.0 m (NMM), a mesma foi corrigida e posicionada na zona limite entre a água do mar e a praia. A

translação horizontal considerada para a curva de nível +2.0 m (NMM) foi a mesma considerada para o ponto de marcação da cota da LMPMAVE (1) e LMPMAVE (2).

De acordo com a Lei n.º 54/2005 (DR, 2005), o DPM compreende as margens das águas costeiras cuja largura será de 50 m. Foi com base nesta condição que se procedeu à delimitação do DPM sobre fotografia aérea. Para ambos os métodos aplicados anteriormente, considerou-se uma translação horizontal de 50 m para este, das linhas anteriormente traçadas que definiram a LMPMAVE (1) e (2), obtendo-se a linha limite do DPM (1) e (2), respetivamente. A Figura 30 apresenta o troço mais a norte do distrito de Aveiro, onde está representado a LMPMAVE, os limites terrestres do DPM e consequentemente a área terrestre do DPM, para ambos os métodos. A representação para todo o litoral do distrito de Aveiro considerando a aplicação de ambos os métodos, encontra-se em anexo, ordenada de norte para sul. Da Figura A.II 1 até à Figura A.II 10 a representação para o método simplificado, e da Figura A.II 11 até à Figura A.II 20 a representação para o método elaborado.

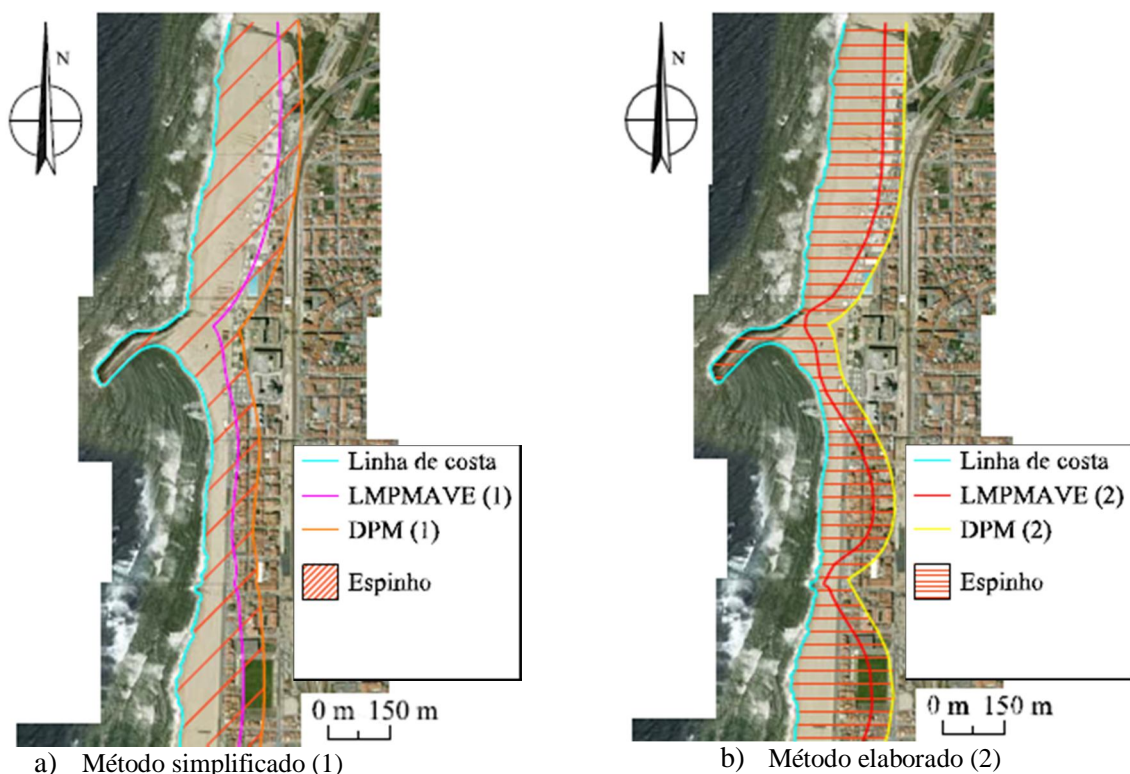


Figura 30 – Exemplo da representação sobre fotografia aérea da LMPMAVE e dos limites do DPM, para ambos os métodos

6.2 Área do DPM

Delineados os limites do DPM para a faixa litoral do distrito de Aveiro, procedeu-se ao cálculo da área territorial do DPM. Para cada um dos métodos considerados, calcularam-se as respetivas áreas do DPM, correspondendo a área do DPM (1) e a área do DPM (2) ao método simplificado e elaborado, respetivamente.

Através dos dois métodos utilizados, obtiveram-se ligeiras diferenças nas áreas para o DPM, correspondendo a apenas uma diferença de 1.14%. Através do método simplificado obteve-se uma área global para o DPM de 10.89 km² enquanto através do método elaborado obteve-se uma área global para o DPM de 11.01 km² (Tabela 27).

Tabela 27 – Áreas do DPM por concelho utilizando ambos os métodos

Concelho	Método Simplificado (1) Área DPM (1) (km ²)	Método Elaborado (2) Área DPM (2) (km ²)	Diferencial entre o Método (1) e (2)
Espinho	1.03	0.95	-8.15%
Ovar	2.22	2.13	-4.13%
Murtosa	3.37	3.57	5.95%
Aveiro	2.23	2.28	2.33%
Ílhavo	1.06	1.23	16.33%
Vagos	0.98	0.85	-12.88%
Total	10.89	11.01	1.14%

Analisando os resultados obtidos, verificam-se diferenças significativas em alguns concelhos entre os valores das áreas do DPM resultantes da aplicação do método simplificado e elaborado. Curiosamente os concelhos mais a sul são os concelhos que registam maiores diferenças entre a aplicação dos dois métodos. Uma vez que o método simplificado não tem em conta a presença de estruturas na faixa litoral, nas zonas onde as mesmas estejam presentes será natural que através do método simplificado se obtenham maiores áreas de DPM em comparação com a aplicação do método elaborado. Exemplo disso são os concelhos de Espinho, Ovar e Vagos, onde a presença de estruturas de defesa costeira é uma constante.

Nos concelhos de Ílhavo, Murtosa e Aveiro obtiveram-se maiores áreas do DPM (2) em comparação com as áreas do DPM (1), sendo o concelho de Ílhavo o que registou maior variação. O litoral deste concelho é definido, na sua maioria, pelas zonas da Barra e Costa Nova. O facto destas zonas serem de baixa altitude, normalmente inferiores à cota +2.00 m (NMM), originou inconformidades do tipo 2. Para solucionar esta situação, tal como referido anteriormente, considerou-se a curva de nível de cota +2.00 m (NMM) na zona limite entre a água do mar e a praia. No momento da marcação das cotas da LMPMAVE utilizando o método elaborado, as mesmas cotas só eram atingidas na outra margem da Ria de Aveiro, bem distantes do litoral. Perante isto, de acordo com o que já foi referido, a LMPMAVE (2) posicionou-se na base das dunas. Ao longo desta zona litoral as extensões de praia, são superiores a 59.76 m, o que origina um posicionamento da LMPMAVE (2) sempre mais a este do que a LMPMAVE (1). Consequentemente, o limite do DPM (2) também se

posicionou mais a este, o que provocou uma diferença de 16.33% entre a área do DPM (2) e a área do DPM (1).

Dos seis concelhos que fazem parte do litoral do distrito de Aveiro, o concelho de Aveiro é aquele que menores diferenças apresenta entre a aplicação dos dois diferentes métodos. A ausência de estruturas costeiras ao longo da sua faixa litoral, associada à ausência de inconformidades levou a somente pequenos ajustes na curva de nível +2.00 m (NMM) e na LMPMAVE (2), originando áreas do DPM (1) e do DPM (2) semelhantes.

Por fim, o concelho da Murtosa apresenta uma diferença de 5.95% entre a área do DPM (1) e a área do DPM (2). Esta diferença é provocada, essencialmente, pela zona localizada a sul do esporão da Torreira, uma vez que nesse local foi registada uma inconformidade do tipo 2.

A Tabela 28 apresenta o comprimento da linha de costa de cada concelho, o respetivo rácio entre a área do DPM e a linha de costa característica de cada concelho e por fim, a percentagem de área do DPM que cada concelho representa no litoral de Aveiro, para os diferentes métodos aplicados. Os concelhos de Espinho, Ílhavo e Vagos apresentam comprimentos de linha de costa muito semelhantes. Os concelhos de Ovar e Murtosa são os que apresentam maior extensão de linha de costa. Embora o concelho de Ovar seja o que tem maior comprimento de linha de costa, não é sinónimo de maior percentagem de DPM. A presença de várias estruturas costeiras ao longo do seu litoral justifica o valor de rácio obtido para o concelho de Ovar. O mesmo já não acontece para os concelhos de Murtosa e Aveiro, onde se verifica uma ausência geral de estruturas de defesa costeira e, consequentemente este facto reflete-se nos respetivos valores de rácio de área do DPM por comprimento de linha de costa, obtidos para cada concelho.

Tabela 28 – Influência dos diferentes concelhos no DPM

Concelho	Linha de Costa (km)	Método Simplificado (1) Rácio (1) (km ² /km)	Método Elaborado (2) Rácio (2) (km ² /km)	Método Simplificado (1)	Método Elaborado (2)
Espinho	8.11	0.13	0.12	9.47%	8.60%
Ovar	19.24	0.12	0.11	20.40%	19.34%
Murtosa	13.15	0.26	0.27	30.95%	32.42%
Aveiro	9.03	0.25	0.25	20.47%	20.72%
Ílhavo	9.69	0.11	0.13	9.73%	11.19%
Vagos	8.28	0.12	0.10	8.97%	7.73%
Média	-	0.16	0.16	-	-
Total	67.49	-	-	100.00%	100.00%

Capítulo 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta dissertação, pretendeu-se estudar o limite do espraçamento das ondas para o litoral do distrito de Aveiro e consequentemente estimar a posição no terreno da LMPMAVE e dos limites do DPM. Desta forma foram recolhidas várias formulações para o cálculo da altura de espraçamento, foram identificados os valores característicos dos parâmetros intervenientes no cálculo da altura de espraçamento para o litoral do distrito de Aveiro e obtiveram-se duas expressões, consideradas características para a estimativa da altura de espraçamento máximo das ondas, tendo como principal objetivo calcular o limite do DPM e representar esse mesmo limite sobre fotografia aérea.

7.1 Conclusões

O espraçamento das ondas influencia diretamente a posição da LMPMAVE no terreno, assim como o limite do DPM. No entanto, a incerteza associada à definição do limite do espraçamento das ondas, dificulta o posicionamento no terreno da LMPMAVE, assim como a respetiva delimitação do DPM.

Da análise da legislação implementada a partir do século XIX, verificou-se que desde cedo o Estado Português procurou definir e clarificar os terrenos afetos ao domínio público. A evolução da legislação foi feita através de pequenos avanços e recuos, culminando atualmente com a Lei n.º 54/2005 de 15 de novembro, conhecida como a Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos. Da interpretação do documento da Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos, resulta que o leito das águas do mar é limitado pela LMPMAVE, sendo esta definida, para cada local, em função do espraçamento das vagas em condições médias de agitação do mar. Por sua vez, entende-se por margem uma faixa de terreno contígua ou sobranceira à linha que limita o leito das águas, contabilizando-se a sua largura a partir da mesma linha. Para a situação das águas do mar, a linha que limita o leito é a LMPMAVE, sendo a largura da margem das mesmas águas de 50 m. O mesmo documento permitiu ainda verificar que o DPM compreende as águas costeiras, o leito das águas costeiras, assim como as margens das águas costeiras, sendo titular do DPM o Estado Português.

Para proceder à definição da LMPMAVE procedeu-se à análise da altura de espraçamento das ondas. O cálculo da altura de espraçamento das ondas realiza-se de acordo com inúmeras formulações, tendo-se identificado neste trabalho 60 formulações distintas. As 60 formulações recolhidas demonstram a grande diversidade de formulações originárias de vários autores. De acordo com as mesmas formulações é possível verificar que são vários os parâmetros intervenientes no cálculo da altura de espraçamento. No entanto, os parâmetros com maior

predominância na estrutura das formulações analisadas são os parâmetros relacionados com as características da agitação marítima, nomeadamente a altura de onda e o período de onda, assim como o declive da face da fronteira costeira. Procedeu-se à divisão das formulações em dois grandes grupos, de acordo com a fronteira costeira: um primeiro grupo de formulações que calcula a altura de espraçamento para praias naturais e um segundo grupo de formulações, adequadas para estruturas costeiras. O organograma elaborado permite dividir e classificar as formulações de acordo com a fronteira costeira, o tipo de ondulação e a proveniência do trabalho que esteve na base da conceção de cada formulação de cada autor, e ainda classificar e separar as formulações de acordo com o nível de espraio calculado por cada uma delas.

Para todas as formulações, foram realizadas análises de sensibilidade, com o objetivo de avaliar a influência da variação de cada um dos parâmetros, no valor final da altura de espraçamento. Inicialmente analisou-se a estrutura das formulações, tendo-se identificado grupos de formulações com diferente estrutura. Embora existam formulações com diferente estrutura, verificou-se uma recorrência geral aos mesmos parâmetros para calcular a altura de espraçamento, nomeadamente a altura de onda, o período de onda, o comprimento de onda e o declive da fronteira natural ou artificial. Foi ainda possível identificar dois tipos de comportamento na representação gráfica da altura de espraçamento em função da altura de onda significativa. Observou-se um comportamento linear nas formulações cuja estrutura apenas apresenta parâmetros como a altura de onda e/ou o declive da estrutura natural ou artificial. O comportamento não-linear foi associado à presença do período de onda na estrutura das formulações. O reduzido número de formulações recolhidas do tipo de ondulação regular não permitiu realizar a devida comparação com as formulações do tipo de ondulação irregular. A proveniência do estudo de cada uma das formulações, também foi analisada, tendo-se verificado de uma forma geral valores da altura de espraçamento superiores quando a proveniência é laboratorial. A análise da variação da altura de espraçamento em função da variação da altura de onda, período de onda e declive, permitiu verificar que a altura de espraçamento será tanto maior quanto maior forem os valores dos três parâmetros referidos anteriormente.

Com o objetivo de estimar as formulações adequadas ao litoral do distrito de Aveiro, procedeu-se à caracterização desta zona costeira, quer a nível do clima de agitação marítima, quer a nível da caracterização morfológica da fronteira costeira existente. Com base nos dados da estação ondógrafo de Leixões, recolhidos pelo IH entre 1981 e 2003, foi possível caracterizar o clima de agitação marítima. Foram estimados, analisados e considerados os

valores para o litoral do distrito de Aveiro, para a altura de onda significativa e período de onda máximo. Para além destes parâmetros, verificou-se que o rumo da ondulação predominante provém do sector NW. Relativamente ao declive das praias naturais, optou-se pela caracterização de diferentes perfis ao longo de toda a faixa litoral, ao invés de se obter unicamente um valor característico para todo o litoral de Aveiro. Para as estruturas costeiras, recorrendo ao projeto das obras de melhoria das condições de abrigo no cais do sector comercial e de manutenção do canal de acesso ao porto de Figueira da Foz, considerou-se um declive de 59.00% (3:2 - H:V)

Para caracterizar as formulações adequadas ao litoral do distrito de Aveiro, para comparar as várias formulações que calculavam diferentes níveis de espraio, foi necessário estabelecer relações entre os diferentes níveis de espraio para praias naturais e para estruturas costeiras. As formulações gerais obtidas para o cálculo da altura de espraçamento, apresentam baixo coeficiente de correlação e consequentemente baixo coeficiente de determinação, devido à heterogenia das formulações a nível estrutural e dos parâmetros envolvidos no cálculo da altura de espraçamento. Aplicando os valores característicos do distrito de Aveiro nas formulações gerais, obtiveram-se as expressões características para o litoral do distrito de Aveiro, que permitem calcular a altura de espraçamento para praias naturais e estruturas costeiras, respetivamente.

A marcação da LMPMAVE no terreno foi obtida através de dois métodos, designados de método simplificado e método elaborado. O método simplificado assume que o declive, para cada perfil considerado, será constante. Com base neste método, a cota da posição da LMPMAVE para cada um dos perfis, foi obtida através de uma translação da curva de nível +2.0 m (NMM), de aproximadamente 60 m para este. O método elaborado considera que o declive para cada perfil varia de uma forma irregular. Desta forma, a partir da curva de nível +2.0 m adicionou-se a altura de espraçamento calculada, para cada perfil, e obteve-se a cota de posicionamento da LMPMAVE. A mesma cota foi lida em mapa, recorrendo ao *Google Earth*, e consequentemente marcada sobre fotografia aérea, definindo o posicionamento da LMPMAVE. Com a aplicação de diferentes métodos, obtiveram-se diferentes áreas do DPM. No entanto, essa diferença é bastante reduzida, cerca de 1.14%, sendo a área do DPM do método elaborado superior à área do DPM obtida através do método simplificado. Verificou-se ainda que a presença de estruturas costeiras na zona litoral condiciona a área do DPM. A ausência de estruturas de defesa costeira permite que o DPM se estenda para o interior, o que origina maiores áreas de DPM. São exemplo desta situação, os concelhos de

Murtosa e Aveiro ainda pouco artificializados, de acordo com os rácios entre a área do DPM e a linha de costa.

7.2 Desenvolvimentos Futuros

A avaliação do limite de espraçamento das ondas é bastante complexa, por todos os fatores e processos envolvidos. A variedade de formulações existentes para calcular a altura de espraçamento é o espelho da incerteza associada à estimativa do limite de espraçamento das ondas. No entanto, a necessidade de avaliar o limite de espraçamento das ondas, por forma a encontrar os limites do DPM, suplanta-se perante todas as dificuldades existentes. Esta dissertação pretende ser uma contribuição para quantificar e avaliar o limite de espraçamento das ondas e consequentemente definir os limites do DPM, para todo o litoral do distrito de Aveiro. O mesmo estudo resultou da avaliação de 60 formulações empíricas e teve como documento base o estudo realizado por Teixeira (2009). De forma a dar-se continuidade ao trabalho realizado seria fundamental complementar este estudo através de campanhas de campo, à semelhança do que Teixeira (2009) realizou para o litoral sul do Algarve. O trabalho de campo a realizar, serviria para contrapor ou corroborar as formulações características para o litoral do distrito de Aveiro, obtidas nesta dissertação.

Embora o foco do estudo desta dissertação tenha incidido sobre o litoral do distrito de Aveiro, as expressões genéricas obtidas, poderão ser testadas e avaliadas para os distritos vizinhos de Aveiro, nomeadamente os distritos do Porto e de Coimbra. Eventualmente poderá ser alargada a zona de estudo para todo o litoral ocidental de Portugal Continental, em função dos resultados obtidos nos distritos anteriormente referidos.

Não tendo sido possível aceder a elementos topográficos referentes à zona litoral de Aveiro, foi através de fotografias aéreas disponibilizadas pelo *Google Earth* que se optou por marcar a LMPMAVE e os limites do DPM. No futuro, seria fundamental a utilização de elementos topográficos mais rigorosos, de forma a aumentar a precisão do posicionamento da LMPMAVE e dos limites terrestres do DPM.

Dos vários parâmetros identificados que influenciam a altura de espraçamento, o declive é aquele que indubitavelmente se assume como sendo o mais difícil de quantificar. O dinamismo associado ao perfil de praia, provocado por vários fatores, origina a incerteza na avaliação do declive de determinado perfil ou zona de praia. De forma a avaliar a influência do declive na altura de espraçamento, seria interessante testar as diferentes formas do perfil de praia adotadas ao longo do tempo, para iguais condições de agitação marítima. A

consideração da inclinação da praia na zona emersa, na zona entre marés, até à base da duna ou estrutura costeira, etc. afeta o resultado do espraçamento.

Tal como em muitos outros estudos relacionados com a hidráulica costeira, para este estudo deverá ser contabilizado o impacto das alterações climáticas. Deverá ser avaliada a subida do nível médio da água do mar e analisada a influência que essa alteração poderá provocar na altura de espraçamento das ondas. Deverá ter-se em consideração que a eventual subida do nível médio da água do mar poderá influenciar o posicionamento da máxima preia-mar de águas vivas equinociais (MPMAVE), considerada neste estudo 2.0 m acima do NMM. Desta forma seria útil avaliar o potencial comportamento dinâmico dos limites do DPM e as consequências que este tipo de comportamento acarreta para a administração do território, a cargo do Estado Português.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afonso, L. (2011) – Estudo numérico do galgamento de estruturas de proteção costeira. Dissertação apresentada à Universidade Nova de Lisboa, para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil-Perfil de estruturas, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa.

Ahrens, J. (1981) – Irregular wave runup on smooth slopes. CETA No. 81-17, U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Va. 22060.

Ahrens J., Heimbaugh M. (1988) – Irregular wave runup on riprap revetments. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*. Vol. 114, Issue 4, p. 524-530. Consultado em De Rouck *et al.* (2001).

Ahrens, J., Seelig, W. (1996) – Wave runup on beaches. *Proceedings of the 25th Coastal Engineering Conference*, American Society of Civil Engineers, p. 981-993.

Algera, A. (2006) – Run-up reduction through Vetiver grass, Msc-thesis Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Department of Hydraulic Engineering.

Allsop, N. (1994) – Design of rock armoured beach control structures. Paper 2.1 to 29th Conference of River and Coastal Engineers, MAFF, Loughborough. Consultado em Van de Walle (2003).

Allsop N., Hawkes P., Jackson F., Franco L. (1985) – Wave run-up on steep slopes - model tests under random waves, Report SR2. Consultado em De Rouck *et al.* (2001).

Alves, E., Rodrigues, S., Pezzuto, P., Shimizu, G. (2004) – Caracterização ambiental da porção subaérea de praias arenosas expostas com diferentes características morfodinâmicas no litoral centro-norte de Santa Catarina, Brasil. *BJAST-Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, Vol. 8, Nº 1, p. 2554-5722.

Andrade, C., Freitas, M. (2002) – Climate Change in Portugal – Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project; Chapter 6: Coastal Zones, Editors Santos, F., Forbes, K. e Moita, D., Gradiva, Lisbon, 456p.

ANPC (2010) – Riscos Costeiros - Estratégias de prevenção, mitigação e proteção, no âmbito do planeamento de emergência e do ordenamento do território. *Cadernos Técnicos ProciV*, Autoridade Nacional de Proteção Civil, 156p.

Anthony, E. (1998) – Sediment-wave parametric characterization of beaches. *Journal of Coastal Research*, Vol. 14, Issue 1, p. 347-352.

ARH Centro (2011) – Critérios para a demarcação física do leito e da margem das águas de transição em sistemas lagunares, estuários e lagoas costeiras do litoral centro. Coimbra, 57p.

Bagnold, R. (1940) – Beach formation by waves: some model experiments in a wave tank. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, Vol. 15, Issue 1, p. 27-52. Consultado em Reis e Gama (2010).

Barata, A., Teles, M., Vieira, J. (1996) – Seleção de Ondas Representativas da Agitação Marítima para Efeito da Avaliação do Transporte Litoral na Costa de Aveiro. Recursos Hídricos. Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, Vol. 17, N.º 1, p. 43-74.

Bascom, W. (1951) – The relationship between sand size and beach face slope. American Geophysical Union, Vol. 32, Issue 6, p. 163-1980. Consultado em Teixeira (2009) e em Reis e Gama (2010).

Battjes, J. (1971) – Run-up distributions of waves breaking on slopes. Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, Vol. 97, issue 1, p. 91-114. Consultado em Komar (1998) e em Teixeira (2009).

Battjes, J. (1974) – Computation of Set-Up, Longshore Currents, Runup and Overtopping Due to Wind Generated Waves. PhD Dissertation, Technische Hogeschool, Delft, Netherlands.

Branco, M., Coito, A. (2011) – Servidões e restrições de utilidade pública (SRUP). Direção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (DGOTDU). Lisboa.

Calliari, L., Muehe, D., Hoefel, F., Toldo Jr., E. (2003) – Beach morphodynamics: a brief review. Brazilian Journal of Oceanography, Vol. 51, p. 63-78.

Carvalho, J., Barceló, J. (1966) – Agitação Marítima na Costa Oeste de Portugal Metropolitano - Contribuição Para o Seu Estudo; Memória n.º 290, Ministério das Obras Públicas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 34p. Consultado em Coelho (2005).

CEM (2002) – Coastal Engineering Manual. US Army Corps of Engineers, Washington DC. Consultado em Teixeira (2009).

CEM (2011) – Coastal Engineering Manual. US Army Corps of Engineers, Washington DC.

CERC (1995) – Irregular wave runup on beaches. CETA No. I-60 (3/95), U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, VA. 5p.

Coelho, C. (2005) – Riscos de Exposição de Frentes Urbanas Para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 404p.

Coelho, C., Veloso-Gomes, F. (2003) – Wave Climate and Longshore Sediment Transport in the Northwest Portuguese Coast. Proceedings of 3rd IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics-RCCEM 2003, Editors A. Sánchez-Arcilla and A. Bateman, Barcelona, Spain, p. 1037-1048.

Coelho, C., Granjo, M. e Silva, C. (2007) – Vulnerabilidade do Distrito de Aveiro às Ações Energéticas do Mar. Recursos Hídricos. Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, Vol. 28, N.º 3, p. 46-53.

Costa, M., Silva, R., Vitorino, J. (2001) – Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. Com. 2ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Associação Nacional de Navegação. Sines, 20p.

Dean, R. e Dalrymple, R. (1991) – Water wave mechanics for engineers and scientists. Advanced series on ocean engineering - Vol. 2, World Scientific. Singapore, 353p.

De la Penã, J., Sánchez, J., Díaz-Sánchez, R., Martín, M. (2012) – Physical model and revision of theoretical runup. Proceedings of 33rd Conference on Coastal Engineering, Santander, Spain, No. 33.

De Rouck, J., Troch, P., Van de Walle, B., Van der Meer, J., Van Damme, L., Medina, J., Willems, M., Frigaard, P. (2001) – Wave Run-Up on a Rubble Mound Breakwater: prototype measurements versus scale model tests. Proceedings of the 5th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment: MEDCOAST-01. Vol. 3, 14p.

De Waal, J., Van der Meer, J. (1992) – Wave runup and overtopping on coastal structures. Proceedings of 23rd Conference on Coastal Engineering, Venice, Italy. Chapter 134, p. 1758-1771.

Douglass, S. (1992) – Estimating extreme values of run-up on beaches. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 118, Issue 2, p. 220-224.

DR (1971) – Decreto-Lei n.º 468/71 de 5 de novembro. Diário da República N.º 260/1971 – I Série. Lisboa

DR (2005) – Lei n.º 54/2005 de 15 de novembro. Diário da República N.º 219/2005 – I Série-A. Lisboa.

Dubois, R. (1982) – Relation among wave conditions, sediment texture, and rising sea level: an opinion. Shore Beach 50, p. 30-32. Consultado em Reis e Gama (2010).

Eurotop (2007) – Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual. Eurotop Overtopping Manual, 178p.

Faria, A. (2005) – Eustasia Global e a Realidade do Litoral Brasileiro. Revista Brasileira de Geomorfologia, Vol. 6, N.º 2, p. 75-82.

Ferreira, Ó. (1993) – Caracterização dos Principais Factores Condicionantes do Balanço Sedimentar e da Evolução da Linha de Costa Entre Aveiro e o Cabo Mondego. Tese de Mestrado (não publicada), Universidade de Lisboa, 168p.

Ferreira, Ó. (1998) – Morfodinâmica de Praias Expostas: Aplicação ao Sector Costeiro Aveiro-Cabo Mondego. Tese de Doutoramento, Universidade do Algarve, 337p.

Fonseca, J. (2011) – A Dimensão dos Sedimentos na Caracterização das Praias. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 161p.

Galvin, C. (1972) – Wave Breaking in Shallow Water, Waves on Beaches, Ed. R. E. Meyer, Academic Press, p. 413-456, New York, NY.

Goda, Y. (1974) – Estimation of Wave Statistics from Spectral Information. Proceedings of the Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, Vol. I, p. 320-337. Consultado em Ahrens (1981).

Goda, Y. (2008) – Overview on the applications of random wave concept in coastal engineering. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, Vol. 84, No. 9, p. 374-385.

Grantham, K. (1953) – A model study of wave run-up on sloping structures. *Technical Report, Series 3, Issue 348*, Institute of Engineering Research, University of California, Berkeley, California.

Grune, J., Wang, Z. (2000) – Wave run-up on sloping seadykes and revetments. *Proc. 27th International Conference on Coastal Engineering (ICCE 2000)*. Sydney, Australia.

Guza, R., Thornton, E. (1981) – Wave set-up on a natural beach. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 86, Issue C5, p. 4133-4137. Consultado em Teixeira (2009).

Günbak, A. (1979) – Rubble mound breakwaters, Report n° 1, Division of Port and Ocean Engineering, University of Trondheim, Norwegian Institute of Technology, Trondheim (Norway). Consultado em Van de Walle (2003).

Hedges, T., Mase, H. (2004) – Modified Hunt's Equation Incorporating Wave Setup, *Journal of Waterways and Harbours Division*, Vol. 130, Issue 3, p. 109-113. Consultado em De la Peña et al. (2012).

Holman, R. (1986) – Extreme value statistics for wave-run-up on a natural beach. *Coastal Engineering*, Vol. 9, Issue 6, p. 527-544. Consultado em Teixeira (2009) e Coelho (2005).

Holman, R., Sallenger Jr., A. (1985) – Setup and swash on a natural beach. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 90, Issue C1, p. 945-953.

Holthuijsen, L. (2007) – *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Delft University of Technology and UNESCO-IHE. Cambridge University Press, 70p.

Hughes, M., Turner, I. (1999) – The Beachface. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*, Edited by Andrew D. Short, University of Sydney, Australia, p. 119-144.

Hughes, S. (2003) – Estimating Irregular wave run-up on smooth, impermeable slopes. ERDC/CHL CHETN-III-68, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS., 11p.

Hughes, S. (2004) – Estimation of wave run-up on smooth, impermeable slopes using the wave momentum flux parameter. *Coastal Engineering* Vol. 51, Issues 11-12, p. 1085-1104.

Hughes, S. (2005) – Estimating irregular wave runup on rough, impermeable slopes. ERDC/CHL CHETN-III-70, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS., 12p.

Hunt, I. (1959) – Design of seawalls and breakwaters. *Journal of the Waterways and Harbors Division*, Vol. 85, Issue 3, p. 123-152. Consultado em Hughes (2004) e em Van de Walle (2003).

IH (2012a) – Instituto Hidrográfico. Consultado em Outubro de 2012. Disponível em: <http://www.hidrografico.pt/glossario-cientifico-mares.php>

IH (2012b) – Instituto Hidrográfico. Consultado em Novembro de 2012. Disponível em: <http://websig.hidrografico.pt/www/Content/Documentacao/ciencia/nmpr.pdf>

INAG (2010) – Despacho n.º 12/2010 - Critérios para a demarcação das áreas sob jurisdição do INAG, IP. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Água.

Inman, D., Bagnol, R. (1966) – In Hill, M. N. (Ed.): The Sea: Ideas and Observations. 2nd ed., Vol. 3. Interscience, New York. 963p. Consultado em McLean e Kirk (1969).

Iribarren, C., Nogales, C. (1949) – Protection des Ports, Section II, Comm. 4, 17th Int. Navigation Congress, p. 31-80, Lisbon, Portugal.

Jackson, D., Cooper, J., del Rio, L. (2005) – Geological control of beach morphodynamic state. Marine Geology, Vol. 216, Issue 4, p. 297-314.

JICZM (2012a) – Journal of Integrated Coastal Zone Management. Consultado em Novembro de 2012. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/ante-praia.html>

JICZM (2012b) – Journal of Integrated Coastal Zone Management. Consultado em Novembro de 2012. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/zonaderebentacao.html>

JICZM (2012c) – Journal of Integrated Coastal Zone Management. Consultado em Novembro de 2012. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/rebentacao.html>

JICZM (2012d) – Journal of Integrated Coastal Zone Management. Consultado em Novembro de 2012. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/comprimentoonda.html>

Kemp, P. (1975) – Wave asymmetry in the nearshore zone and breaker area. In: Hails, J., Carr, A. (Eds.), Nearshore Sediment Dynamics and Sedimentation. Wiley-Interscience, London, p. 47-67. Consultado em Reis e Gama (2010).

Kingston K., Murphy J. (1996) – Thematic report: Wave run-up / rundown, MAST II report. Consultado em Van de Walle (2003).

Komar, P. (1976) – Beach Processes and Sedimentation. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 429p.

Komar, P. (1998) – Beach processes and sedimentation (2^a edição). Prentice Hall, New Jersey, 544p.

Leonardo, T. (2004) – Seminário sobre desenvolvimento sustentável e o mar: 5^a Sessão - Gestão sustentável da orla costeira. Documento não publicado. Instituto Superior Técnico, Lisboa. Consultado em Outubro 2012. Disponível em: http://seminarios.ist.utl.pt/04-05/des/material/gestsust_orla_tleonardo.pdf

Levoy, F., Anthony, E., Monfort, O., Larssonneur, C. (2000) – The morphodynamics of megatidal beaches in Normandy, France. Marine Geology, Vol. 171, Issues 1-4, p. 39-59.

Martinho, M., Martins, J., Ambrósio, F. (2010) – Delimitação do DPM na zona do Sudoeste Alentejano e Costa Vicentina. INAG.

Martins, F. (1997) – Políticas de Planeamento, Ordenamento e Gestão Costeira - contributo para uma discussão metodológica. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro, para obtenção do grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, 269p.

Mase, H. (1989) – Random wave run-up height and gentle slope. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 115, Issue 5, p. 649-661. Consultado em Teixeira (2009).

Mase, H., Iwagaki, Y. (1984) – Run-up of random waves on gentle slopes. ASCE, Chapter 40, p. 593-609.

Masselink, G., Li, L. (2001) – The role of swash infiltration in determining the beachface gradient: a numerical study. *Marine Geology*, Vol. 176, Issues 1-4, p. 139-156.

Masselink, G., Pattiaratchi, C. B. (2001) – Seasonal changes in beach morphology along the sheltered coastline of Perth, Western Australia. *Marine Geology*, Vol. 172, Issues 3-4, p. 243-263.

Masselink, G., Hughes, M. (2003) – Introduction to coastal processes and geomorphology. Arnold, London, 354p.

Mather, A., Stretch, D., Garland, G. (2010) – Wave run up on natural beaches. *Proceedings of 32nd Conference on Coastal Engineering*, Shanghai, China, N.º 32, p. 1260-1265.

McArdle, S., McLachlan, A. (1992) – Sandy beach ecology: swash features relevant to the macrofauna. *Journal of Coastal Research*, Vol. 8, Issue 2, p. 398-407.

McLean, R., Kirk, R. (1969) – Relationship between grain size, size-sorting and foreshore slope on mixed sand-shingle beaches. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, Vol. 12, Issue 1, p. 138-155.

Ministério da Marinha (1947) – III-Estudo sobre o Domínio Público Marítimo. *Boletim da Comissão do Domínio Público Marítimo*. Consultado em Pinho (2003).

Nielsen, P., Hanslow, D. (1991) – Wave runup distributions on natural beaches. *Journal of Coastal Research*, Vol. 7, Issue 4, p. 1139-1152.

Osborne, P., Simpson, D. (2005) – Cross-Shore Variation of Grain Size on Beaches. *Encyclopedia of Coastal Science*, p. 353-354. Consultado em Sousa (2009).

Packwood, A. R. (1983) – The influence of beach porosity on wave uprush and backwash. *Coastal Engineering*, Vol. 7, Issue 1, p. 29-40. Consultado em Reis e Gama (2010).

Pinho, L. (2003) – Domínio Público Marítimo - O seu “carácter Público” e a Qualificação das Áreas Costeiras. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro, para obtenção do grau de Mestre em Gestão e Políticas Ambientais, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.

Pinto, F., Neves, A. (2003) – A importância da consideração do carácter irregular da agitação no dimensionamento de quebra-mares de Taludes. *Revista da Universidade do Minho*, N.º 16, p. 95-111.

Pinto, L. (1993) – Morfosedimentogénese e Ambiente da Ria de Mira, Aveiro-Portugal. Tese de Mestrado (não publicada), Universidade de Lisboa, 186p. Consultado em Ferreira (1998).

POOC B. V. (1999) – Plano de Ordenamento da Orla Costeira de Burgau-Vilamoura. Consultado em Teixeira (2009).

Pryor, W. (1973) – Permeability-porosity patterns and variations in some Holocene sand bodies. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, Vol. 57, Issue 1, p. 162-189. Consultado em Reis e Gama (2010).

Pureza, F. e Araújo, A. (1956a) – Granulometria e Minerais Pesados das Areias das Praias Entre o Porto e a Figueira da Foz. *Memórias e Notícias*, 41, p. 3-7. Consultado em Ferreira (1998).

Pureza, F. e Araújo, A. (1956b) – Contribution a l'étude des Sables des Plages du Nord du Portugal. *Memórias e Notícias*, 42, p. 3-25. Consultado em Ferreira (1998).

Quick, M. (1991) – Onshore-offshore sediment transport on beaches. *Coastal Engineering*, Vol. 15, Issue 4, p. 313-332. Consultado em Reis e Gama (2010).

Raubenheimer, B., Guza, R. (1996) – Observations and predictions of run-up, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, Issue C10, p. 25575-25587.

Reis, A., Gama, C. (2010) – Sand size versus beachface slope - An explanation based on the Constructal Law. *Geomorphology*, Vol. 114, Issue 3, p. 276-283.

Rilo, A., Freire, P., Mendes, R., Ceia, R., Catalão, J., Taborda, R., Melo, R., Andrade, C., Caçador, M., Freitas, M. (2012) – Um contributo para o traçado da linha da máxima preia-mar de águas vivas equinociais em ambientes de transição. O caso do estuário do Tejo. 11º Congresso da água, Porto.

Roberts, T., Wang, P., Kraus, N. (2007) – Limits of beach and dune erosion in response to wave runup elucidated from SUPERTANK. *Proceedings Coastal Sediments '07 Conference*, ASCE Press, Reston, VA, p. 1961-1974.

Ruggiero, P., Komar, P., McDougal, W., Marra, J., Beach, R. (2001) – Wave runup, extreme water levels and the erosion of properties backing beaches. *Journal of Coastal Research*, Vol. 17, Issue 2, p. 407-419.

Ruggiero, P., Holman, R., Beach, R. (2004) – Wave run-up on a high-energy dissipative beach. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 109.

Savage, R. P. (1958) – Wave run-up on roughened and permeable slopes. *Journal of the Waterways and Harbors Division*, Vol. 84, Issue 3. American Society of Civil Engineers, p. 1640-1 – 1640-38. Consultado em Hughes (2004).

Saville Jr., T. (1955) – Laboratory data on wave run-up and overtopping on shore structure. Technical Memorandum No. 64, Beach Erosion Board, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.

Saville Jr., T. (1956) – Wave run-up on shore structures. Journal of the Waterways Division, Vol. 82, Issue 2. American Society of Civil Engineers, p. 925-1 – 925-14. Consultado em Hughes (2004).

Saville Jr., T. (1958) – Wave run-up on composite slopes. Proceedings of the 6th International Coastal Engineering Conference. American Society of Civil Engineers, p. 691-699.

Selley, R. (1988) – Applied Sedimentology. Academic Press, London, p. 446. Consultado em Reis e Gama (2010).

Shankar, N., Jayaratne, M. (2003) – Wave run-up and overtopping on smooth and rough slopes of coastal structures. Ocean Engineering, Vol. 30, Issue 2, p. 221-238.

Shepard, F. P. (1963) – Submarine Geology, 2nd ed., Harper and Row, New York. Consultado em Reis e Gama (2010) e em McLean e Kirk (1969).

Short, A. (1999) – Wave dominated beaches. In Handbook of beach and shoreface morphodynamics, edited by Short, A. D., Wiley, p. 173-203.

Smith, J. (2003) – Surf Zone Hydrodynamics. Coastal Engineering Manual, Part II, Coastal Hydrodynamics II-4, Engineer Manual 1110-2-1100, Vincent, L. (editor), U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 40p.

SNIRH (2013) – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Consultado em Agosto de 2013. Disponível em: <http://geo.snirh.pt/AtlasAgua/>

Sorensen, R. (2006) – Basic Coastal Engineering. Department of Civil and Environmental Engineering Lehigh University. 3^a Edition, Springer. Bethlehem, Pennsylvania, 324p.

Sousa, G. (2009) – Avaliação da concentração de sedimentos na zona de rebentação. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro, para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro.

SPM (1984) – Shore protection manual. Coastal Engineering Research Center. U.S. Army Corp of Engineers. Government Printing Office Washington, D.C.

Stefanakis, T., Dias, F., Dutykh, D. (2011) – Local run-up amplification by resonant wave interactions. Physical Review Letters, Vol. 107, Issue 12, p. 124502-5.

Stockdon, H., Holman, R., Howd, P., Sallenger Jr., A. (2006) – Empirical parameterization of setup, swash and runup. Coastal Engineering, Vol. 53, Issue 7, p. 573-588.

Sunamura, T. (1984) – Quantitative predictions of beachface slopes. Geological Society of America Bulletin, Vol. 95, p. 242-245. Consultado em Reis e Gama (2010).

TAW (2002) – Wave run-up and wave overtopping at dikes. Technical Advisory Committee for Flood Defence in the Netherlands.

Teixeira, S. (1994) – Dinâmica Morfossedimentar da Ria de Aveiro (Portugal). Tese de doutoramento (não publicada), Universidade de Lisboa, 396p. Consultado em Ferreira (1998).

Teixeira, S. (2009) – Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve. Administração da Região Hidrográfica do Algarve. Faro, 207p.

Tomé, A. (1992) – Domínio Público Marítimo Relações Institucionais. 1º Congresso da Água - O Estado da Água em Portugal: atas, Lisboa, 1992. Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, Vol. 3, p. 221-229. Consultado em Martins (1997).

Van Gent, M. (2002) – Wave overtopping events at dikes. Proceedings of the 28th International Coastal Engineering Conference, World Scientific, Vol. 2, p. 2203-2215. Consultado em Algera (2006).

Van de Walle, B. (2003) – Wave run-up on rubble mound breakwaters. PhD Thesis, Universiteit Gent, Faculteit van de Toegepaste Wetenschappen, Vakgroep Civiele Techniek (TW15).

Van de Walle, B., Rouck, J., Grüne, J., Einar, H. (2004) – Large scale wave run-up tests on a rubble mound breakwater. Proceedings Coastal Structures 2003, ASCE, p. 444-455.

Van der Meer, J., Stam, C. (1992) – Wave run-up on smooth and rock slopes of coastal structures. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol. 118, Issue 5, p. 534-550.

Veloso-Gomes, F. (1981) – Espraçamento de Ondas Regulares Sobre Taludes de Obras Marítimas. Dissertação para Doutoramento em Hidráulica Aplicada. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Walton, T., Ahrens, J., Truitt, C., Dean, R. (1989) – Criteria for evaluating coastal flood-protection structures. Technical Report CERC-89-15, U.S. Army Corps of Engineers, 165p.

Wassing, F. (1957) – Model investigation on wave run-up carried out in the Netherlands during the past twenty years. Proceedings of the 6th Coastal Engineering Conference, ASCE, New York, p. 700-714.

Wiegel, R. (1964) – Oceanographic Engineering. Prentice Hall, New Jersey, 531p. Consultado em McLean e Kirk (1969).

Wright, L., Short, A. (1984) – Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. Marine Geology, Vol. 56, Issues 1-4, p. 93-118.

Anexos

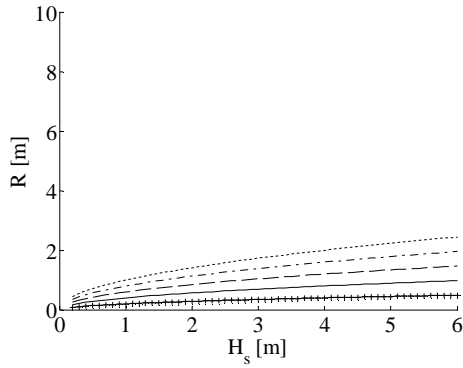


ANEXO I

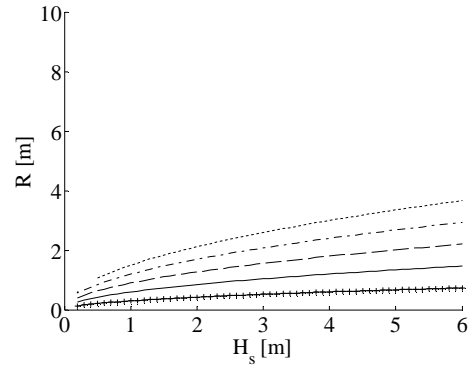
ANEXO I

Tabela A.I 1 – Formulações do tipo PN-R-L-R

Nº	Formulação	Método
2	$R = (H \times L)^{0.5} \times \tan \beta$ $R = 3H$	Hunt (1959)



a) Formulações do tipo PN-R-L-R ($T = 8$ s)



b) Formulações do tipo PN-R-L-R ($T = 12$ s)

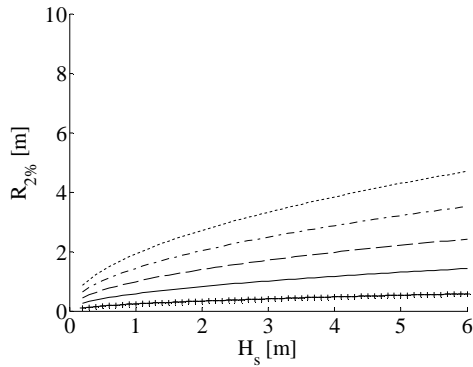
— Formulação Nº 2

—+— $\beta = 2\%$ — $\beta = 4\%$ --- $\beta = 6\%$ -.-.- $\beta = 8\%$ $\beta = 10\%$

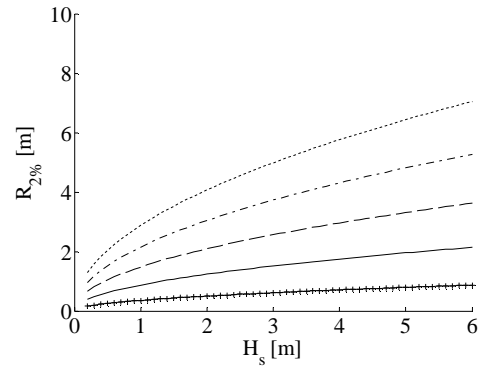
Figura A.I 1 – Altura de espraçamento para formulações do tipo PN-R-L-R

Tabela A.I 2 – Formulações do tipo PN-R-L-R_{2%}

Nº	Formulação	Método
50	$R_{2\%} = 4H_s \times \xi_p \times (\tan \beta)^{0.3}$	De la Peña <i>et al.</i> (2012)



a) Formulações do tipo PN-R-L-R_{2%} ($T = 8$ s)



b) Formulações do tipo PN-R-L-R_{2%} ($T = 12$ s)

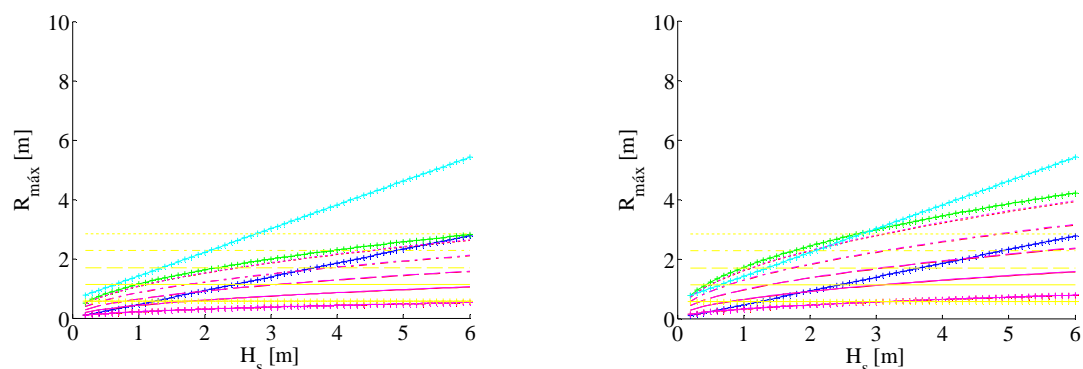
— Formulação Nº 50

—+— $\beta = 2\%$ — $\beta = 4\%$ --- $\beta = 6\%$ -.-.- $\beta = 8\%$ $\beta = 10\%$

Figura A.I 2 – Altura de espraçamento para formulações do tipo PN-R-L-R_{2%}

Tabela A.I 3 – Formulações do tipo PN-I-C- $R_{m\acute{a}x}$

Nº	Formulação	Método
3	$R_{m\acute{a}x} = 10H_s \times \left(\frac{15}{\Delta X}\right)^{2/3}$	Mather <i>et al.</i> (2010)
4	$R_{m\acute{a}x} = \frac{0.12H_s}{\left(\frac{H_s}{L_p}\right)^{0.5}}$	Douglass (1992)
19	$R_{m\acute{a}x} = 1.07H_s \times \xi$	Holman (1986)
20	$R_{m\acute{a}x} = 0.80H_s + 0.62$	POOC BV (1999)
21	$R_{m\acute{a}x} = 1.08H_s \times \xi$	Teixeira (2009)
22	$R_{m\acute{a}x} = 28.4 \times \tan \beta$	



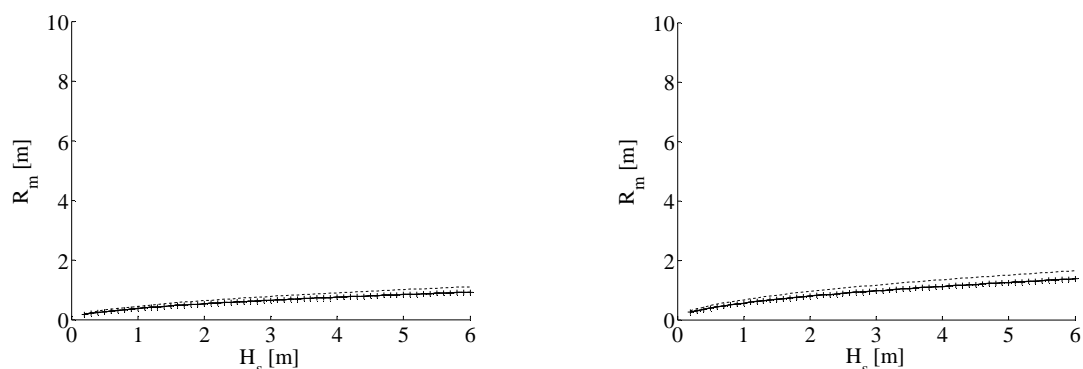
a) Formulações do tipo PN-I-C- $R_{m\acute{a}x}$ ($T = 8$ s) b) Formulações do tipo PN-I-C- $R_{m\acute{a}x}$ ($T = 12$ s)

—+— Formulação Nº 3 —+— Formulação Nº 4 —+— Formulação Nº 19 —+— Formulação Nº 20
—+— Formulação Nº 21 —+— Formulação Nº 22
—+— $\beta = 2\%$ —+— $\beta = 4\%$ —+— $\beta = 6\%$ —+— $\beta = 8\%$ —+— $\beta = 10\%$

Figura A.I 3 – Altura de espraçamento para formulações do tipo PN-I-C- $R_{m\acute{a}x}$

Tabela A.I 4 – Formulações do tipo PN-I-C- R_m

Nº	Formulação	Método
54	$R_m = 0.534 \times (H_{rms} \times L)^{0.5} \times \tan \beta$ $R_m = 0.0445 \times (H_{rms} \times L)^{0.5}$	Hanslow e Nielsen (1991)



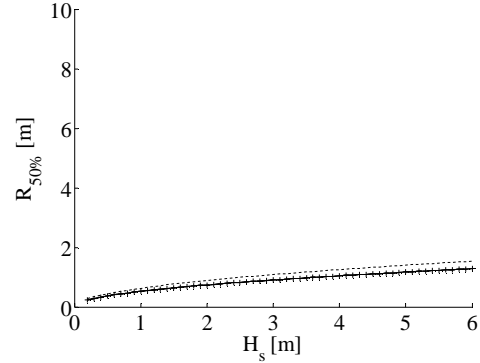
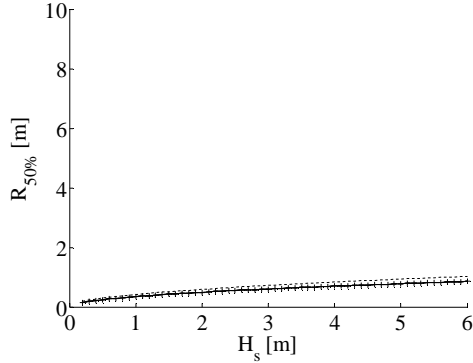
a) Formulações do tipo PN-I-C- R_m ($T = 8$ s) b) Formulações do tipo PN-I-C- R_m ($T = 12$ s)

—+— Formulação Nº 54
—+— $\beta = 2\%$ —+— $\beta = 4\%$ —+— $\beta = 6\%$ —+— $\beta = 8\%$ —+— $\beta = 10\%$

Figura A.I 4 – Altura de espraçamento para formulações do tipo PN-I-C- R_m

Tabela A.I 5 – Formulações do tipo PN-I-C- $R_{50\%}$

Nº	Formulação	Método
53	$R_{50\%} = 0.498 \times (H_{rms} \times L)^{0.5} \times \tan \beta$ $R_{50\%} = 0.0415 \times (H_{rms} \times L)^{0.5}$	Nielsen e Hanslow (1991)



a) Formulações do tipo PN-I-C- $R_{50\%}$ ($T = 8$ s) b) Formulações do tipo PN-I-C- $R_{50\%}$ ($T = 12$ s)

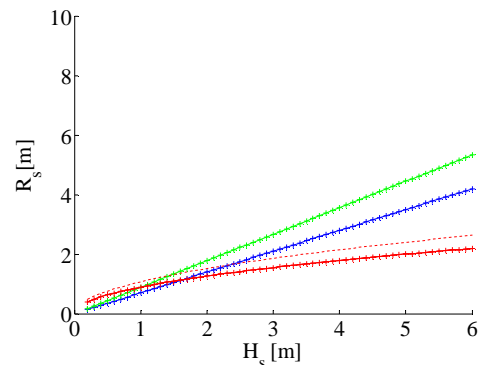
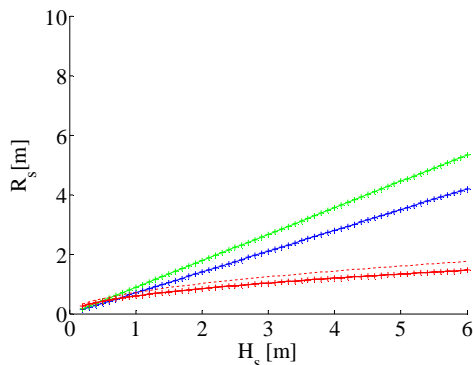
— Formulação Nº 53

—+— $\beta = 2\%$ — $\beta = 4\%$ - - - $\beta = 6\%$. . . $\beta = 8\%$ - - - $\beta = 10\%$

Figura A.I 5 – Altura de espraçamento para formulações do tipo PN-I-C- $R_{50\%}$

Tabela A.I 6 – Formulações do tipo PN-I-C- R_s

Nº	Formulação	Método
11	$R_s = 0.7H_s$	Guza e Thornton (1981)
44	$R_s = 0.89H_s$	CERC (1995)
55	$R_s = 0.852 \times (H_{rms} \times L)^{0.5} \times \tan \beta$ $R_s = 0.071 \times (H_{rms} \times L)^{0.5}$	Hanslow e Nielsen (1991)



a) Formulações do tipo PN-I-C- R_s ($T = 8$ s) b) Formulações do tipo PN-I-C- R_s ($T = 12$ s)

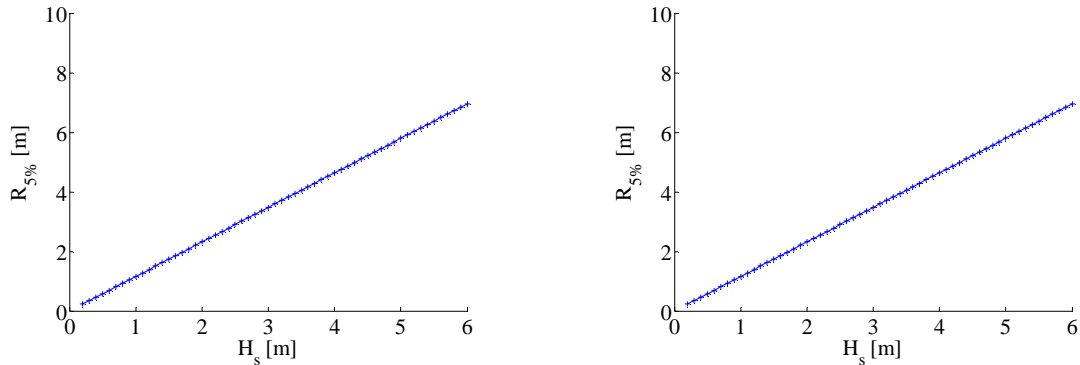
— Formulação Nº 11 — Formulação Nº 44 — Formulação Nº 55

—+— $\beta = 2\%$ — $\beta = 4\%$ - - - $\beta = 6\%$. . . $\beta = 8\%$ - - - $\beta = 10\%$

Figura A.I 6 – Altura de espraçamento para formulações do tipo PN-I-C- R_s

Tabela A.I 7 – Formulações do tipo PN-I-C-R_{5%}

Nº	Formulação	Método
45	$R_{5\%} = 1.16H_s$	CERC (1995)



a) Formulações do tipo PN-I-C-R_{5%} ($T = 8$ s) b) Formulações do tipo PN-I-C-R_{5%} ($T = 12$ s)

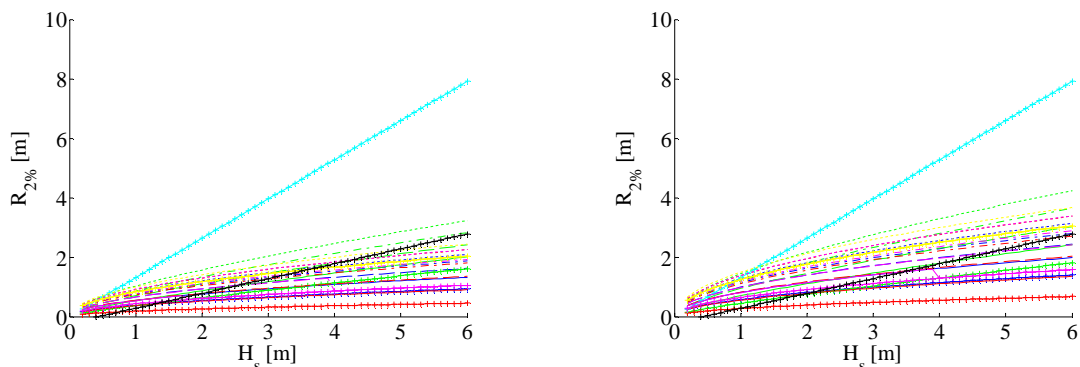
—+— Formulação N° 45

—+— $\beta = 2\%$ — $\beta = 4\%$ - - - $\beta = 6\%$ - - - - $\beta = 8\%$ $\beta = 10\%$

Figura A.I 7 – Altura de espraio para formulações do tipo PN-I-C-R_{5%}

Tabela A.I 8 – Formulações do tipo PN-I-C-R_{2%}

Nº	Formulação	Método
16	$R_{2\%} = 0.27 \times (\tan \beta \times H_s \times L)^{0.5}$	Holman (1986)
17	$R_{2\%} = (0.83\xi + 0.2) \times H_s$	
18	$R_{2\%} = 0.92H_s \times \xi$	
46	$R_{2\%} = 1.32H_s$	CERC (1995)
48	$R_{2\%} = 1.1 \times \left(0.35\beta \times (H_s \times L)^{0.5} + \frac{[H_s \times L \times (0.563\beta^2 + 0.004)]^{0.5}}{2} \right)$	Stockdon <i>et al.</i> (2006)
	$R_{2\%} = 0.043 \times (H_s \times L)^{0.5}$	
56	$R_{2\%} = 1.188 \times (H_{rms} \times L)^{0.5} \times \tan \beta$	Hanslow e Nielsen (1991)
	$R_{2\%} = 0.099 \times (H_{rms} \times L)^{0.5}$	
58	$R_{2\%} = 0.5H_s - 0.22$	Ruggiero <i>et al.</i> (2001)



a) Formulações do tipo PN-I-C-R_{2%} ($T = 8$ s) b) Formulações do tipo PN-I-C-R_{2%} ($T = 12$ s)

— Formulação N° 16 — Formulação N° 17 — Formulação N° 18 — Formulação N° 46

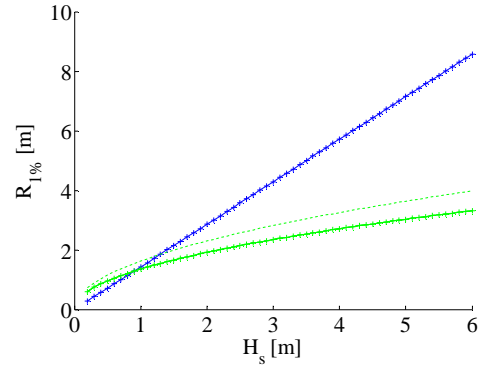
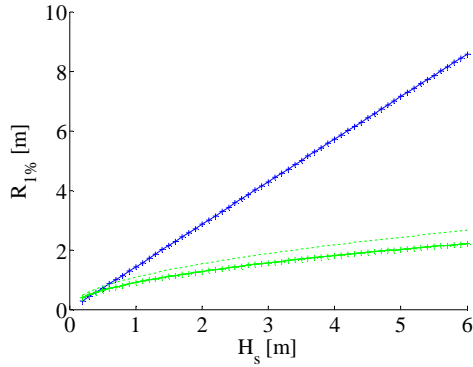
— Formulação N° 48 — Formulação N° 56 — Formulação N° 58

—+— $\beta = 2\%$ — $\beta = 4\%$ - - - $\beta = 6\%$ - - - - $\beta = 8\%$ $\beta = 10\%$

Figura A.I 8 – Altura de espraio para formulações do tipo PN-I-C-R_{2%}

Tabela A.I 9 – Formulações do tipo PN-I-C- $R_{1\%}$

Nº	Formulação	Método
47	$R_{1\%} = 1.43H_s$	CERC (1995)
57	$R_{1\%} = 1.29 \times (H_{rms} \times L)^{0.5} \times \tan \beta$ $R_{1\%} = 0.1075 \times (H_{rms} \times L)^{0.5}$	Hanslow e Nielsen (1991)



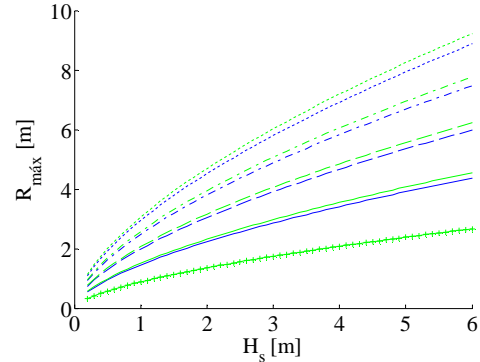
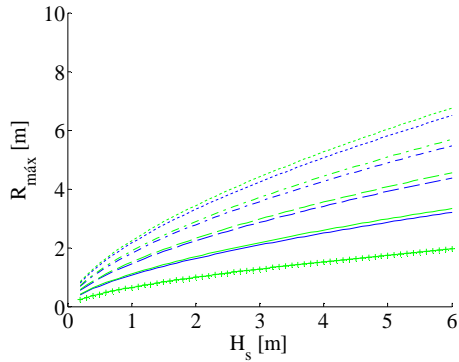
c) Formulações do tipo PN-I-C- $R_{1\%}$ ($T = 8$ s) d) Formulações do tipo PN-I-C- $R_{1\%}$ ($T = 12$ s)

—+— Formulação Nº 47 — Formulação Nº 57
 —+— $\beta = 2\%$ — $\beta = 4\%$ - - - $\beta = 6\%$ - - - - $\beta = 8\%$ $\beta = 10\%$

Figura A.I 9 – Altura de espraçamento para formulações do tipo PN-I-C- $R_{1\%}$

Tabela A.I 10 – Formulações do tipo PN-I-L- $R_{m\acute{a}x}$

Nº	Formulação	Método
13	$R_{m\acute{a}x} = 2.319H_s \times \xi_s^{0.771}$	Mase e Iwagaki (1984)
23	$R_{m\acute{a}x} = 2.32H_s \times \xi_p^{0.77}$	Mase (1989)



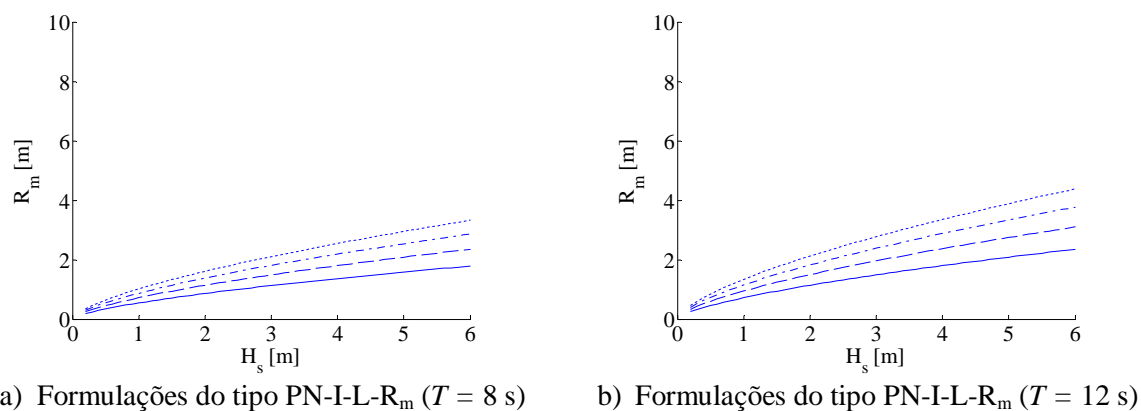
a) Formulações do tipo PN-I-L- $R_{m\acute{a}x}$ ($T = 8$ s) b) Formulações do tipo PN-I-L- $R_{m\acute{a}x}$ ($T = 12$ s)

—+— Formulação Nº 13 — Formulação Nº 23
 —+— $\beta = 2\%$ — $\beta = 4\%$ - - - $\beta = 6\%$ - - - - $\beta = 8\%$ $\beta = 10\%$

Figura A.I 10 – Altura de espraçamento para formulações do tipo PN-I-L- $R_{m\acute{a}x}$

Tabela A.I 11 – Formulações do tipo PN-I-L- R_m

Nº	Formulação	Método
15	$R_m = 1.085H_s \times \xi_s^{0.678}$	Mase e Iwagaki (1984)



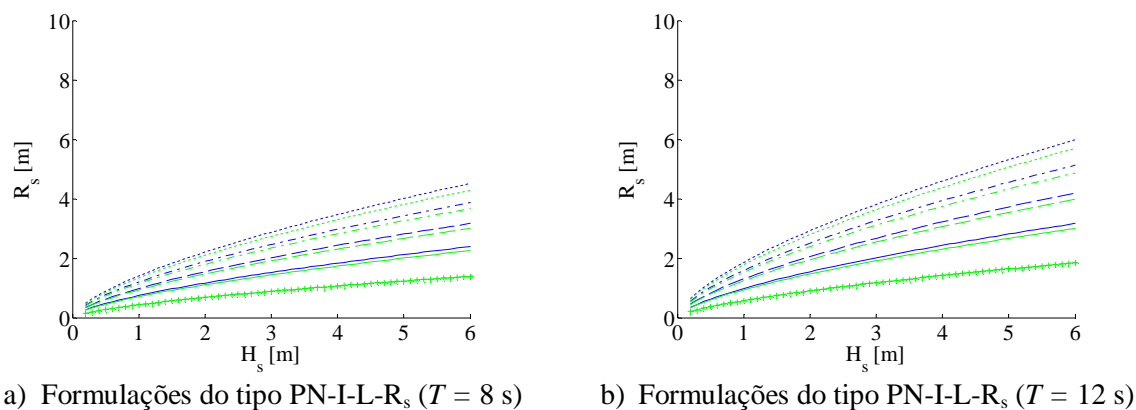
—+— Formulação N° 15

—+— $\beta = 2\%$ — $\beta = 4\%$ - - - $\beta = 6\%$ - · - · $\beta = 8\%$ ····· $\beta = 10\%$

Figura A.I 11 – Altura de espraioamento para formulações do tipo PN-I-L- R_m

Tabela A.I 12 – Formulações do tipo PN-I-L- R_s

Nº	Formulação	Método
14	$R_s = 1.497H_s \times \xi_s^{0.695}$	Mase e Iwagaki (1984)
25	$R_s = 1.38H_s \times \xi_p^{0.70}$	Mase (1989)



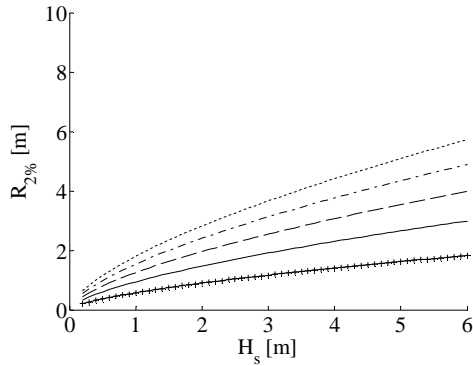
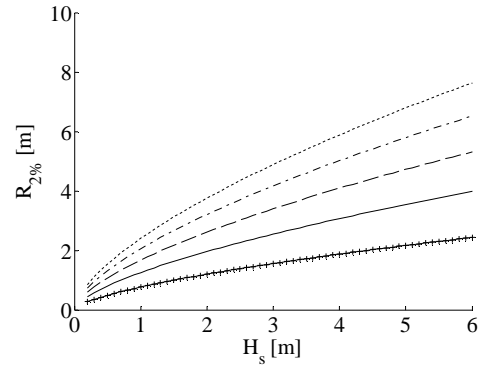
—+— Formulação N° 14 —+— Formulação N° 25

—+— $\beta = 2\%$ — $\beta = 4\%$ - - - $\beta = 6\%$ - · - · $\beta = 8\%$ ····· $\beta = 10\%$

Figura A.I 12 – Altura de espraioamento para formulações do tipo PN-I-L- R_s

Tabela A.I 13 – Formulações do tipo PN-I-L-R_{2%}

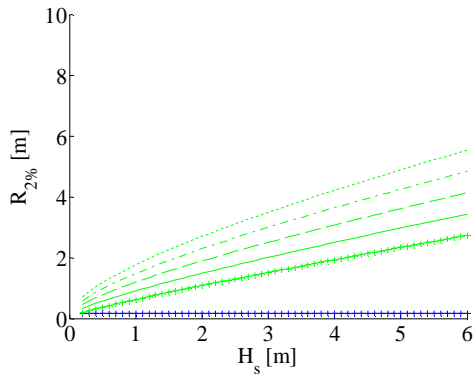
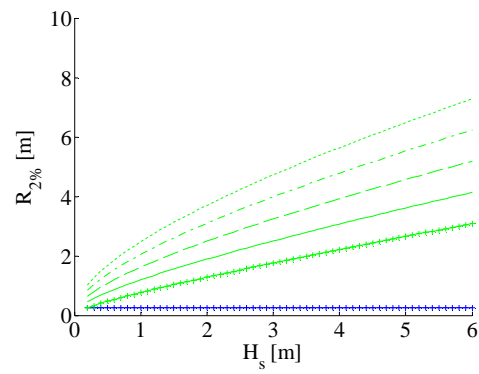
Nº	Formulação	Método
24	$R_{2\%} = 1.86H_s \times \xi_p^{0.71}$	Mase (1989)

a) Formulações do tipo PN-I-L-R_{2%} ($T = 8$ s)b) Formulações do tipo PN-I-L-R_{2%} ($T = 12$ s)

— Formulação N° 24

—+— $\beta = 2\%$ — $\beta = 4\%$ --- $\beta = 6\%$ - - - $\beta = 8\%$ $\beta = 10\%$ **Figura A.I 13 – Altura de espraçamento para formulações do tipo PN-I-L-R_{2%}****Tabela A.I 14 – Formulações do tipo PN-I-C/L-R_{2%}**

Nº	Formulação	Método
12	$R_{2\%} = \frac{4.1H_s}{N_0} \times \sqrt{\frac{d_{sw}}{d_{sr}}}$	Ahrens e Sellig (1996)
59	$R_{2\%} = (0.34 + 1.49\xi_p) \times H_s$	Hedges e Mase (2004)

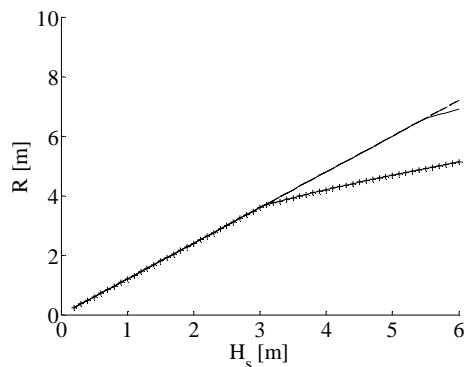
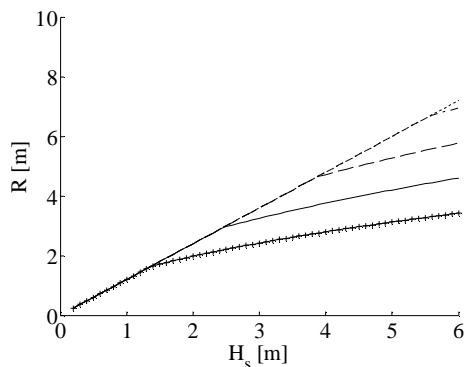
a) Formulações do tipo PN-I-C/L-R_{2%} ($T = 8$ s)b) Formulações do tipo PN-I-C/L-R_{2%} ($T = 12$ s)

— Formulação N° 12 — Formulação N° 59

—+— $\beta = 2\%$ — $\beta = 4\%$ --- $\beta = 6\%$ - - - $\beta = 8\%$ $\beta = 10\%$ **Figura A.I 14 – Altura de espraçamento para formulações do tipo PN-I-C/L-R_{2%}**

Tabela A.I 15 – Formulações do tipo EC-R-C-R

Nº	Formulação	Método
7	$R = 0.4H \times \xi$ $R = 1.2H$	Günbak (1979)



c) Formulações do tipo EC-R-C-R ($T = 8$ s)

d) Formulações do tipo EC-R-C-R ($T = 12$ s)

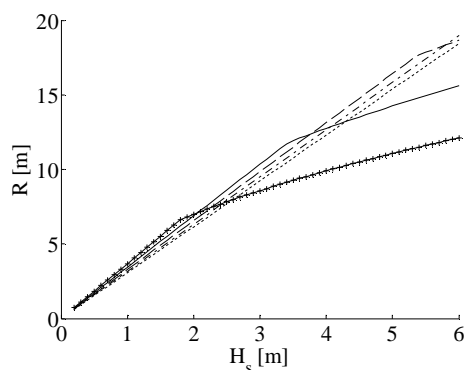
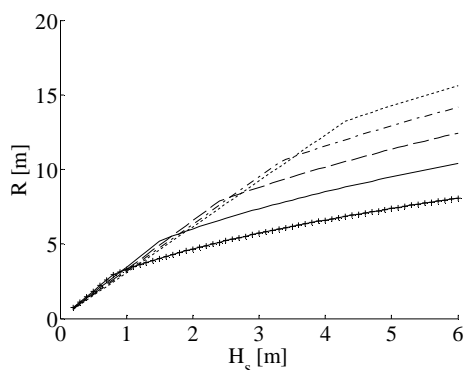
— Formulação Nº 7

—+— $\beta = 35\%$ — $\beta = 47\%$ --- $\beta = 59\%$ - - - - $\beta = 71\%$ $\beta = 83\%$

Figura A.I 15 – Altura de espraioamento para formulações do tipo EC-R-C-R

Tabela A.I 16 – Formulações do tipo EC-R-L-R

Nº	Formulação	Método
5	$R = \frac{H \times \sin \beta}{\left(\frac{H}{L}\right)^{0.5}}$ $R = (2\pi)^{0.5} H \times \left(\frac{\pi}{2\beta}\right)^{1/4}$	Walton <i>et al.</i> (1989)



a) Formulações do tipo EC-R-L-R ($T = 8$ s)

b) Formulações do tipo EC-R-L-R ($T = 12$ s)

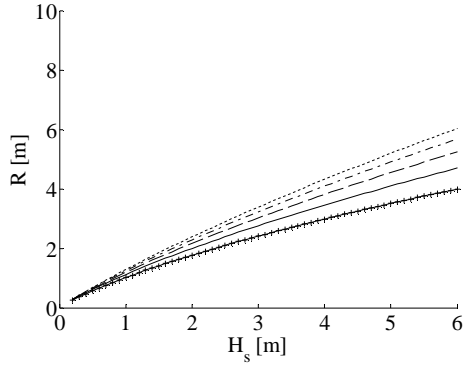
— Formulação Nº 5

—+— $\beta = 35\%$ — $\beta = 47\%$ --- $\beta = 59\%$ - - - - $\beta = 71\%$ $\beta = 83\%$

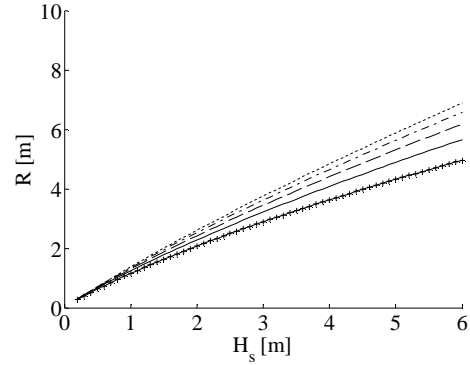
Figura A.I 16 – Altura de espraioamento para formulações do tipo EC-R-L-R

Tabela A.I 17 – Formulações do tipo EC-I-C-R

Nº	Formulação	Método
8	$R = \frac{0.8H \times \xi}{1 + 0.5\xi}$	Günbak (1979)



a) Formulações do tipo EC-I-C-R ($T = 8$ s)



b) Formulações do tipo EC-I-C-R ($T = 12$ s)

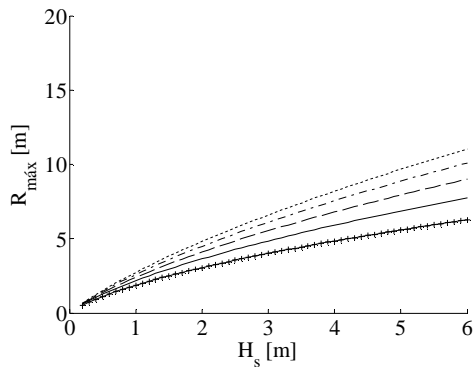
— Formulação Nº 8

—+— $\beta = 35\%$ — $\beta = 47\%$ --- $\beta = 59\%$ - - - - $\beta = 71\%$ $\beta = 83\%$

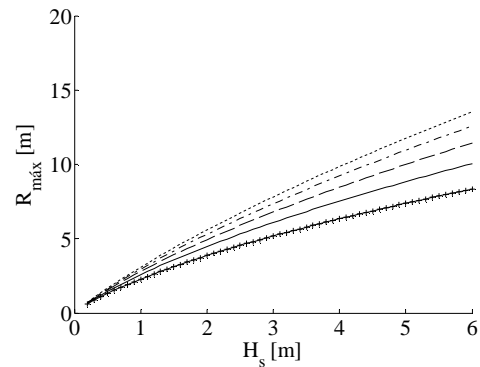
Figura A.I 17 – Altura de espraioamento para formulações do tipo EC-I-C-R

Tabela A.I 18 – Formulações do tipo EC-I-L- $R_{m\acute{a}x}$

Nº	Formulação	Método
52	$R_{m\acute{a}x} = \frac{1.022H_s \times \xi_p}{1 + 0.247\xi_p}$	Ahrens e Heimbaugh (1988)



a) Formulações do tipo EC-I-L- $R_{m\acute{a}x}$ ($T = 8$ s)



b) Formulações do tipo EC-I-L- $R_{m\acute{a}x}$ ($T = 12$ s)

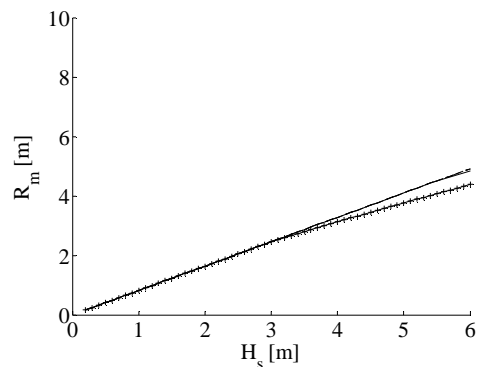
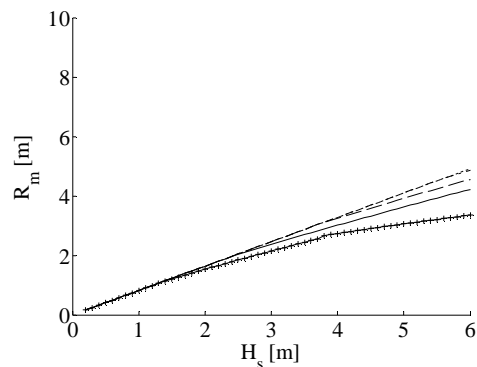
— Formulação Nº 52

—+— $\beta = 35\%$ — $\beta = 47\%$ --- $\beta = 59\%$ - - - - $\beta = 71\%$ $\beta = 83\%$

Figura A.I 18 – Altura de espraioamento para formulações do tipo EC-I-L- $R_{m\acute{a}x}$

Tabela A.I 19 – Formulações do tipo EC-I-L-R_m

Nº	Formulação	Método
34	$R_m = \min\{0.47H_s \times \xi_m; 0.82H_s\}$ $R_m = \min\{0.60H_s \times \xi_m^{0.34}; 0.82H_s\}$	Van der Meer e Stam (1992)



c) Formulações do tipo EC-I-L-R_m (T = 8 s)

d) Formulações do tipo EC-I-L-R_m (T = 12 s)

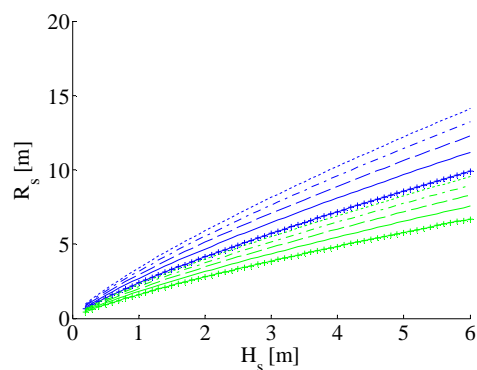
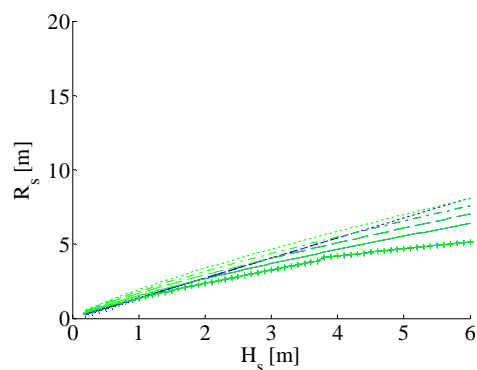
— Formulação Nº 34

—+— β = 35% — β = 47% --- β = 59% - - - - β = 71% β = 83%

Figura A.I 19 – Altura de espraçamento para formulações do tipo EC-I-L-R_m

Tabela A.I 20 – Formulações do tipo EC-I-L-R_s

Nº	Formulação	Método
33	$R_s = \min\{0.72H_s \times \xi_m; 1.35H_s\}$ $R_s = \min\{0.88H_s \times \xi_m^{0.41}; 1.35H_s\}$	Van der Meer e Stam (1992)
38	$R_s = 0.72H_s \times \xi_m$ $R_s = 0.88H_s \times \xi_m^{0.41}$	CEM (2011)



a) Formulações do tipo EC-I-L-R_s (T = 8 s)

b) Formulações do tipo EC-I-L-R_s (T = 12 s)

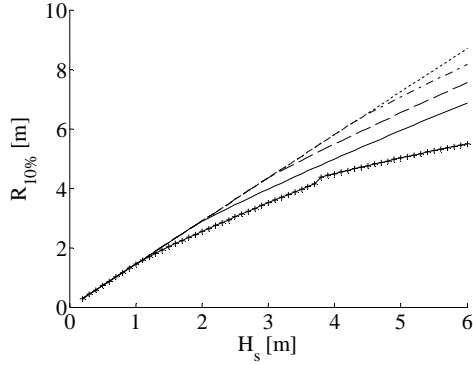
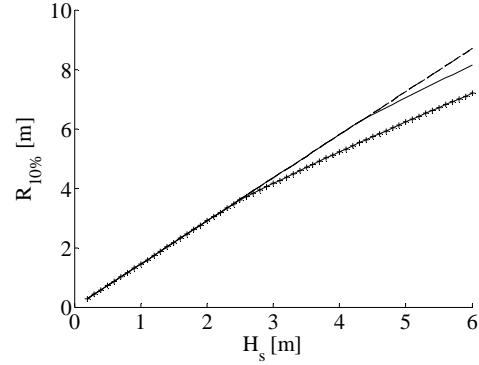
— Formulação Nº 33 — Formulação Nº 38

—+— β = 35% — β = 47% --- β = 59% - - - - β = 71% β = 83%

Figura A.I 20 – Altura de espraçamento para formulações do tipo EC-I-L-R_s

Tabela A.I 21 – Formulações do tipo EC-I-L-R_{10%}

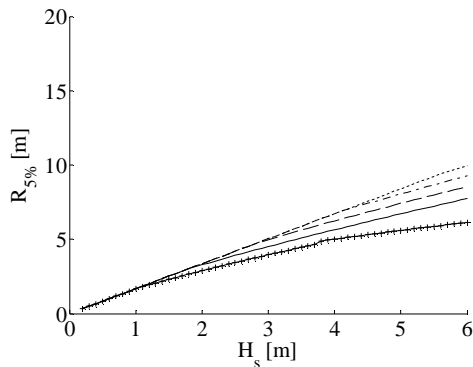
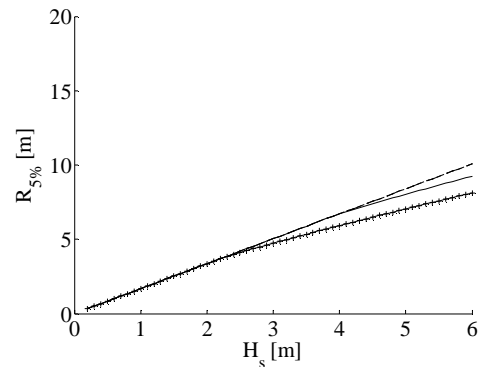
Nº	Formulação	Método
32	$R_{10\%} = \min\{0.77H_s \times \xi_m; 1.45H_s\}$ $R_{10\%} = \min\{0.94H_s \times \xi_m^{0.42}; 1.45H_s\}$	Van der Meer e Stam (1992)

a) Formulações do tipo EC-I-L-R_{10%} ($T = 8$ s)b) Formulações do tipo EC-I-L-R_{10%} ($T = 12$ s)

— Formulação Nº 32

—+— $\beta = 35\%$ — $\beta = 47\%$ --- $\beta = 59\%$ - - - - $\beta = 71\%$ $\beta = 83\%$ **Figura A.I 21 – Altura de espraioamento para formulações do tipo EC-I-L-R_{10%}****Tabela A.I 22 – Formulações do tipo EC-I-L-R_{5%}**

Nº	Formulação	Método
31	$R_{5\%} = \min\{0.86H_s \times \xi_m; 1.68H_s\}$ $R_{5\%} = \min\{1.05H_s \times \xi_m^{0.44}; 1.68H_s\}$	Van der Meer e Stam (1992)

a) Formulações do tipo EC-I-L-R_{5%} ($T = 8$ s)b) Formulações do tipo EC-I-L-R_{5%} ($T = 12$ s)

— Formulação Nº 31

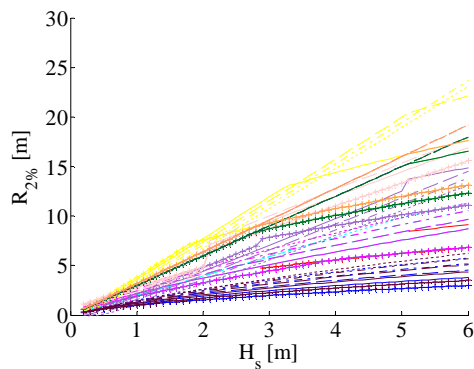
—+— $\beta = 35\%$ — $\beta = 47\%$ --- $\beta = 59\%$ - - - - $\beta = 71\%$ $\beta = 83\%$ **Figura A.I 22 – Altura de espraioamento para formulações do tipo EC-I-L-R_{5%}**

Tabela A.I 23 – Formulações do tipo EC-I-L-R_{2%}

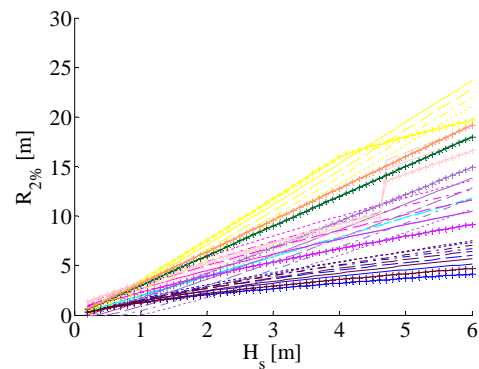
Nº	Formulação	Método
1	$R_{2\%} = 8H_s \times \tan \beta$	Wassing (1957)
9	$R_{2\%} = 2.222h \times (\tan \beta)^{0.7} \left(\frac{M_F}{\rho \times g \times h^2} \right)^{0.5}$	Hughes (2005)
10	$R_{2\%} = 1.76H_s \times (1 - e^{-0.28\xi_m})$	Kingston e Murphy (1996)
26	$R_{2\%} = 1.5H_s \times \xi_p$	Van der Meer e Stam (1992)
27	$R_{2\%} = 0.83H_s \times \xi_p$	
30	$R_{2\%} = \min\{0.96H_s \times \xi_m; 1.97H_s\}$	
	$R_{2\%} = \min\{1.17H_s \times \xi_m^{0.46}; 1.97H_s\}$	
37	$R_{2\%} = 0.96H_s \times \xi_m$	CEM (2011)
	$R_{2\%} = 1.17H_s \times \xi_m^{0.46}$	
39	$R_{2\%} = 1.6H_s \times \xi_p$	
	$R_{2\%} = (4.5 - 0.2\xi_p) \times H_s$	
40	$R_{2\%} = 1.35H_s \times \xi_p$	Hughes (2003)
	$R_{2\%} = (3 - 0.25\xi_p) \times H_s$	
41	$R_{2\%} = 1.75h \times (1 - e^{-(1.3 \cot \beta)}) \times \left(\frac{M_F}{\rho \times g \times h^2} \right)^{0.5}$	
	$R_{2\%} = 1.75h \times (1 + e^{-(0.47 \cot \beta)}) \times \left(\frac{M_F}{\rho \times g \times h^2} \right)^{0.5}$	
42	b)	De Waal e Van der Meer (1992)
43	c)	
49	$R_{2\%} = 1.52H_s \times (1 - e^{-0.34\xi})$	Allsop <i>et al.</i> (1985)

b) $R_{2\%} = \min\{1.5H_s \times \gamma_b \times \gamma_h \times \gamma_r \times \gamma_\beta \times \xi_{p,eq}; 3H_s \times \gamma_b \times \gamma_h \times \gamma_r \times \gamma_\beta\}$

c) $R_{2\%} = \min\{1.6H_s \times \gamma_b \times \gamma_h \times \gamma_r \times \gamma_\beta \times \xi_{p,eq}; 3.2H_s \times \gamma_b \times \gamma_h \times \gamma_r \times \gamma_\beta\}$



a) Formulações do tipo EC-I-L-R_{2%} (T = 8 s)



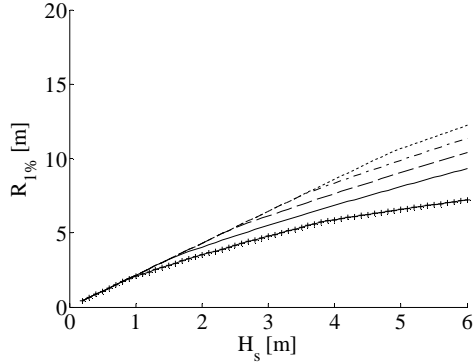
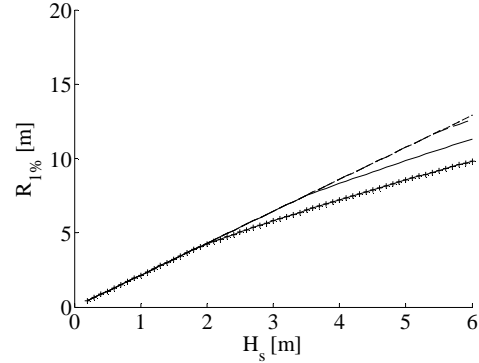
b) Formulações do tipo EC-I-L-R_{2%} (T = 12 s)

- Formulação Nº 10 — Formulação Nº 26 — Formulação Nº 27 — Formulação Nº 30
— Formulação Nº 37 — Formulação Nº 39 — Formulação Nº 40 — Formulação Nº 41
— Formulação Nº 42 — Formulação Nº 43 — Formulação Nº 49
—+— β = 35% — β = 47% — β = 59% — β = 71% — β = 83%

Figura A.I 23 – Altura de espraioamento para formulações do tipo EC-I-L-R_{2%}

Tabela A.I 24 – Formulações do tipo EC-I-L- $R_{1\%}$

Nº	Formulação	Método
29	$R_{1\%} = \min\{1.01H_s \times \xi_m; 2.15H_s\}$ $R_{1\%} = \min\{1.24H_s \times \xi_m^{0.48}; 2.15H_s\}$	Van der Meer e Stam (1992)

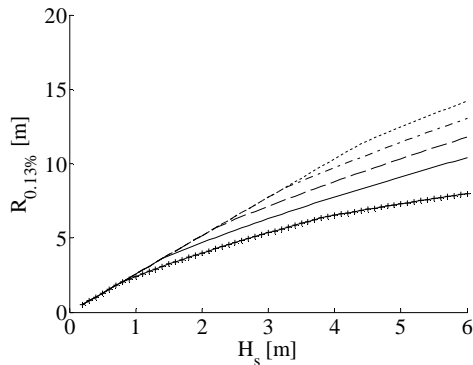
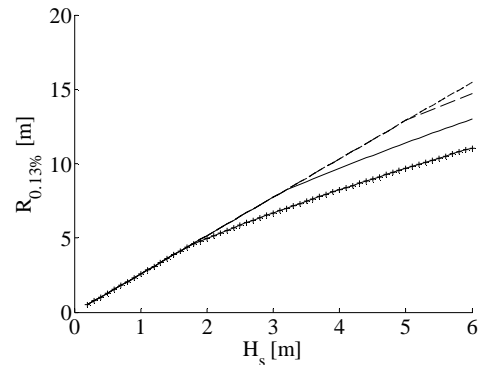
a) Formulações do tipo EC-I-L- $R_{1\%}$ ($T = 8$ s)b) Formulações do tipo EC-I-L- $R_{1\%}$ ($T = 12$ s)

— Formulação Nº 29

—+— $\beta = 35\%$ — $\beta = 47\%$ --- $\beta = 59\%$ -.-.- $\beta = 71\%$ $\beta = 83\%$

Figura A.I 24 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-I-L- $R_{1\%}$ **Tabela A.I 25 – Formulações do tipo EC-I-L- $R_{0.13\%}$**

Nº	Formulação	Método
28	$R_{0.13\%} = \min\{1.12H_s \times \xi_m; 2.58H_s\}$ $R_{0.13\%} = \min\{1.34H_s \times \xi_m^{0.55}; 2.58H_s\}$	Van der Meer e Stam (1992)

a) Formulações do tipo EC-I-L- $R_{0.13\%}$ ($T = 8$ s)b) Formulações do tipo EC-I-L- $R_{0.13\%}$ ($T = 12$ s)

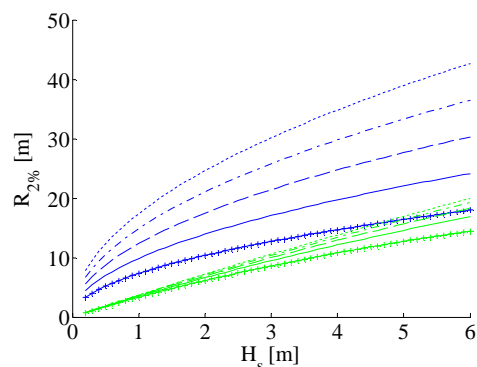
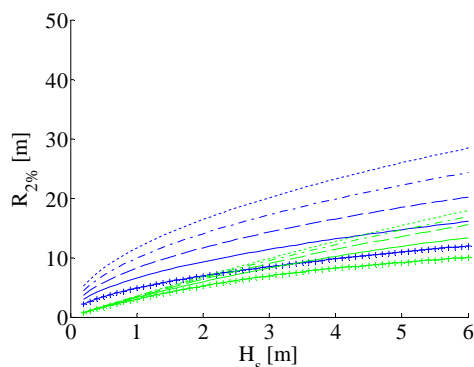
— Formulação Nº 28

—+— $\beta = 35\%$ — $\beta = 47\%$ --- $\beta = 59\%$ -.-.- $\beta = 71\%$ $\beta = 83\%$

Figura A.I 25 – Altura de espraimento para formulações do tipo EC-I-L- $R_{0.13\%}$

Tabela A.I 26 – Formulações do tipo EC-I-N/D-R_{2%}

Nº	Formulação	Método
51	$R_{2\%} = 1.68H_s \times \xi_m$	Battjes (1974)
60	$R_{2\%} = 1.35H_s \times \xi_e$	Van Gent (2002)
	$R_{2\%} = H_s \times \left(4 - \frac{2.963}{\xi_e}\right)$	



a) Formulações do tipo EC-I-N/D-R_{2%} (T = 8 s) b) Formulações do tipo EC-I-N/D-R_{2%} (T = 12 s)

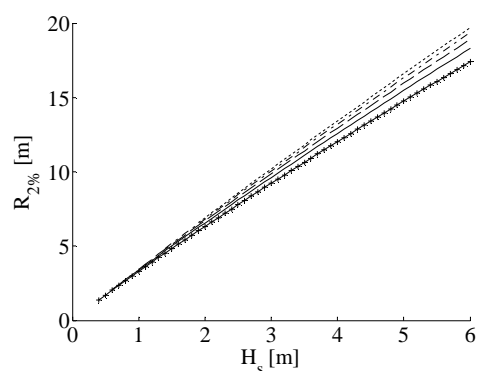
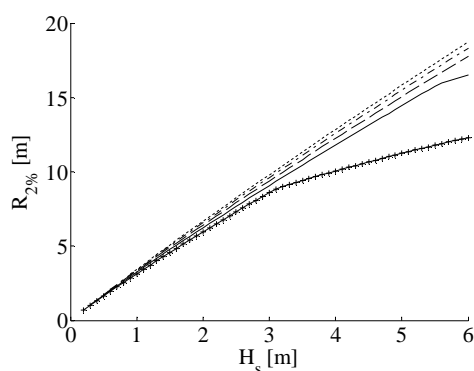
— Formulação Nº 51 — Formulação Nº 60

—+— β = 35% — β = 47% --- β = 59% -.-.- β = 71% β = 83%

Figura A.I 26 – Altura de espraio para formulações do tipo EC-I-N/D-R_{2%}

Tabela A.I 27 – Formulações do tipo EC-N/D-L-R_{2%}

Nº	Formulação	Método
6	$R_{2\%} = \min \left\{ 1.65H_s \times \gamma_b \times \gamma_r \times \gamma_\beta \times \xi_e; H_s \times \gamma_b \times \gamma_r \times \gamma_\beta \times \left(4 - \frac{1.5}{\sqrt{\xi_e}}\right) \right\}$	Eurotop (2007)



a) Formulações do tipo EC-N/D-L-R_{2%} (T = 8 s)

b) Formulações do tipo EC-N/D-L-R_{2%} (T = 12 s)

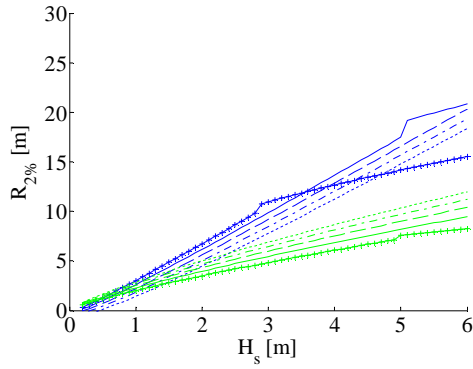
— Formulação Nº 6

—+— β = 35% — β = 47% --- β = 59% -.-.- β = 71% β = 83%

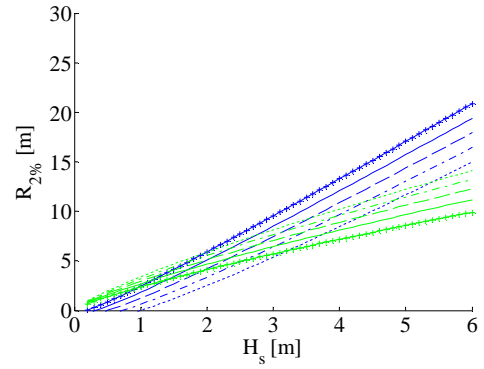
Figura A.I 27 – Altura de espraio para formulações do tipo EC-N/D-L-R_{2%}

Tabela A.I 28 – Formulações do tipo EC-N/D-N/D-R_{2%}

Nº	Formulação	Método
35	$R_{2\%} = 1.89H_s \times \xi_p$	Allsop (1994)
	$R_{2\%} = (4.2 - 0.35\xi_p) \times H_s$	
36	$R_{2\%} = 1.01H_s \times \xi_p$	
	$R_{2\%} = \min\{1.23H_s \times \xi_p^{0.41}; 1.89H_s\}$	



a) Formulações do tipo EC-N/D-N/D-R_{2%}
(*T* = 8 s)



b) Formulações do tipo EC-N/D-N/D-R_{2%}
(*T* = 12 s)

—+— Formulação Nº 35 — Formulação Nº 36

—+— β = 35% — β = 47% --- β = 59% β = 71% β = 83%

Figura A.I 28 – Altura de espraçamento para formulações do tipo EC-N/D-N/D-R_{2%}

Anexos



ANEXO II

ANEXO II

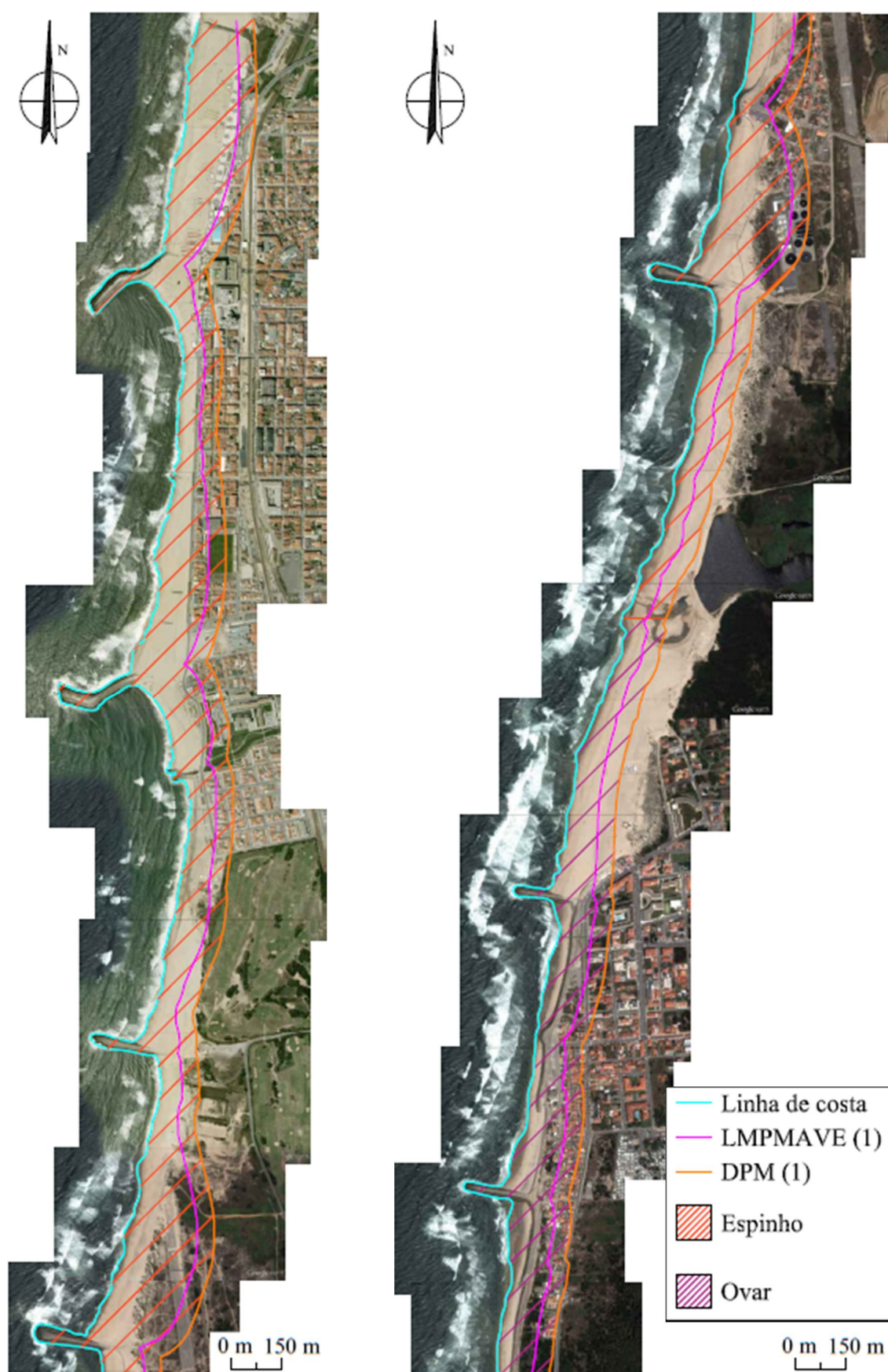


Figura A.II 1 – Representação da LMPMAVE (1) e DPM (1), concelhos de Espinho e Ovar

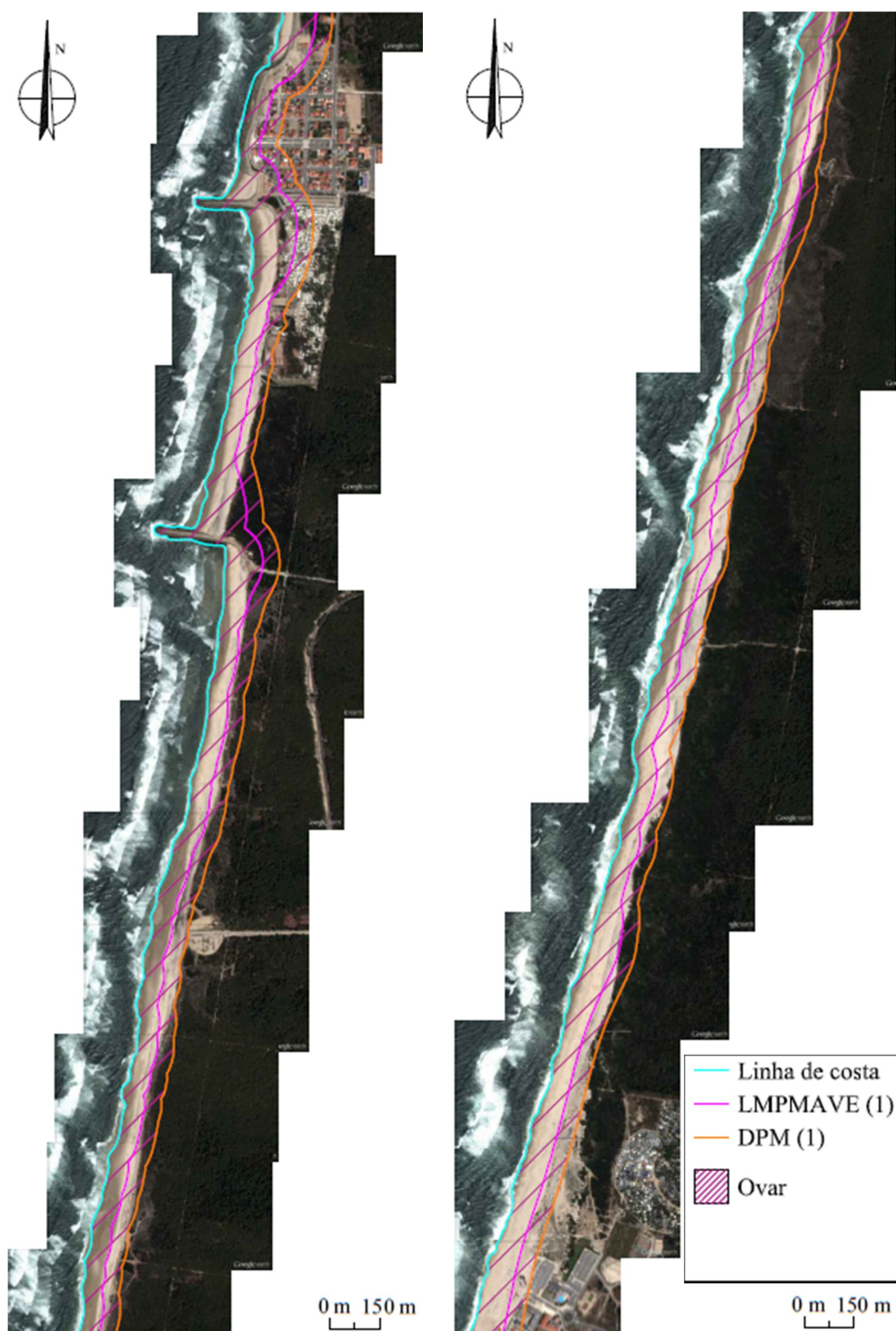


Figura A.II 2 – Representação da LPMMAVE (1) e do DPM (1), concelho de Ovar

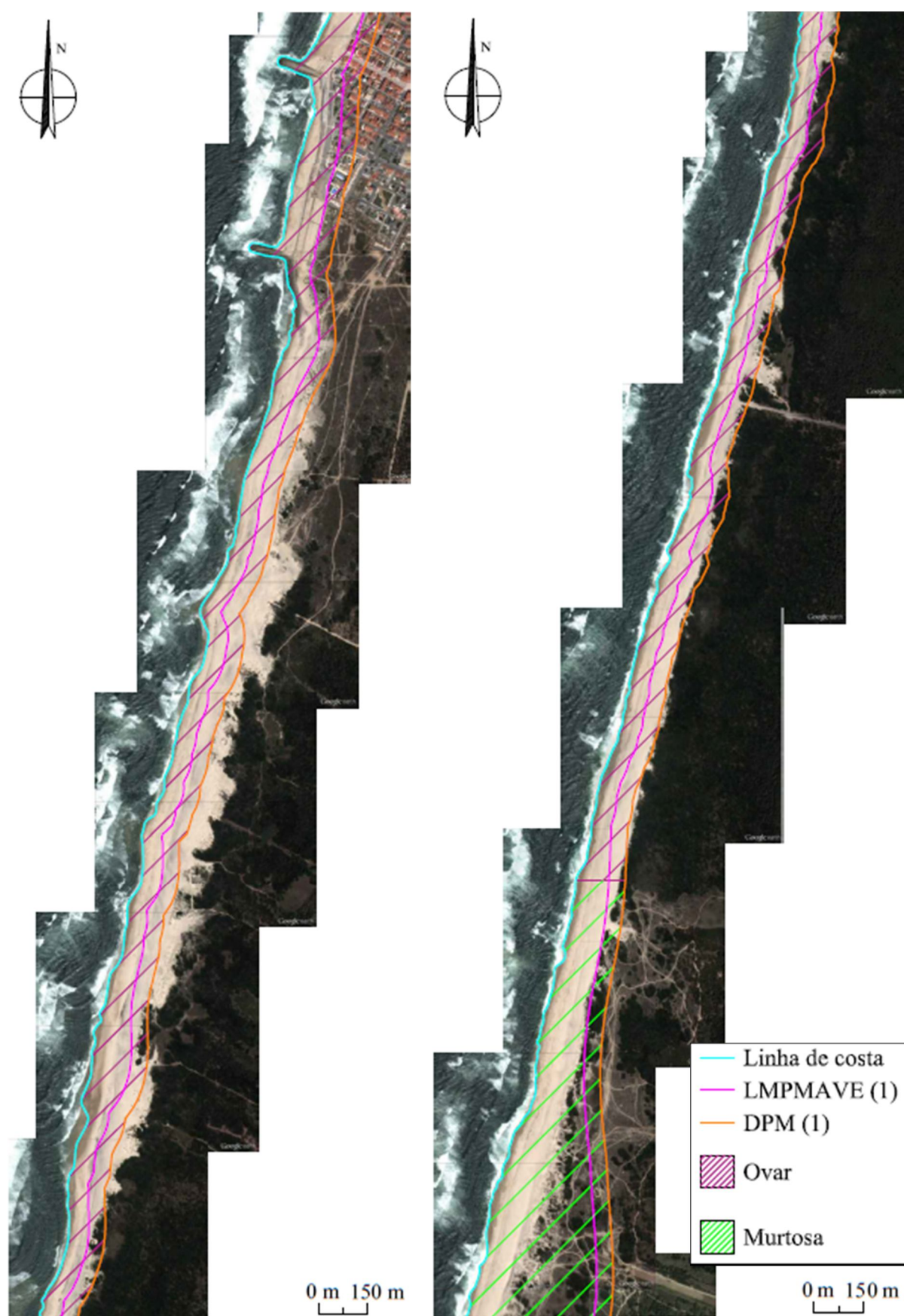


Figura A.II 3 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelhos de Ovar e Murtosa

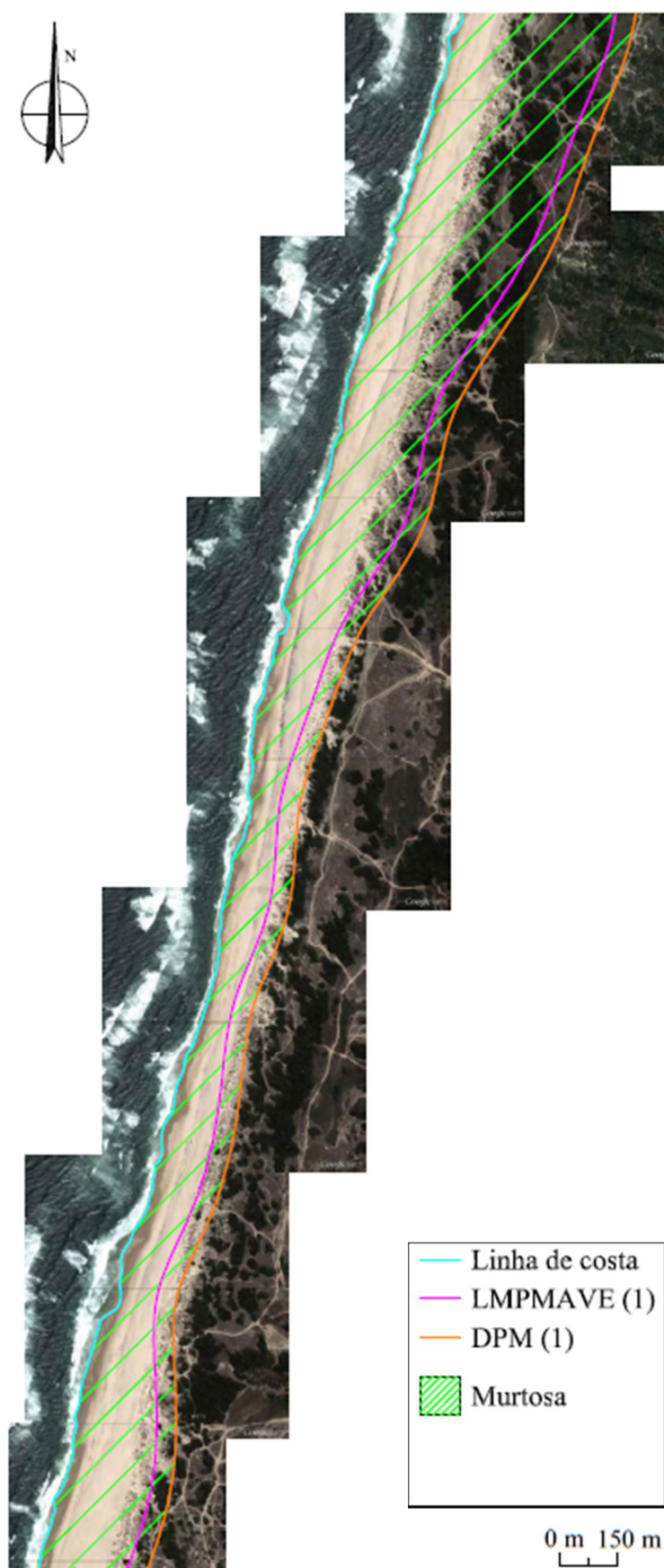


Figura A.II 4 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelho de Murtosa (1)

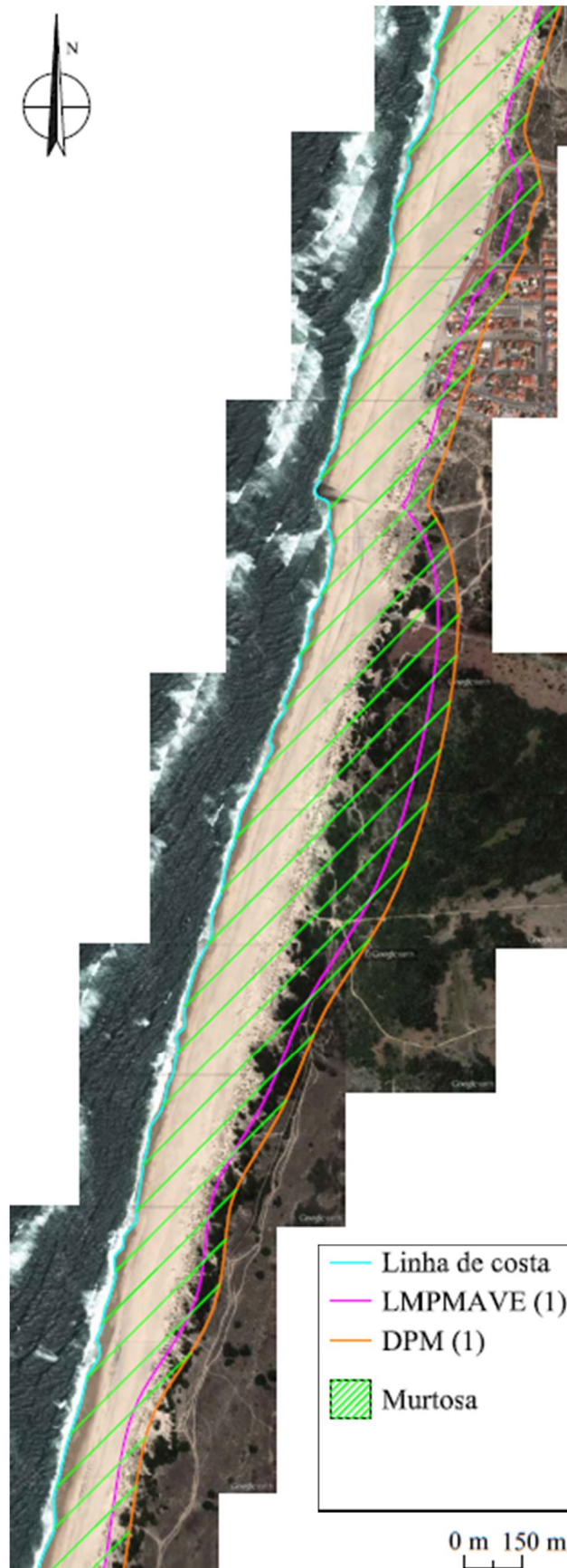


Figura A.II 5 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelho de Murtosa (2)

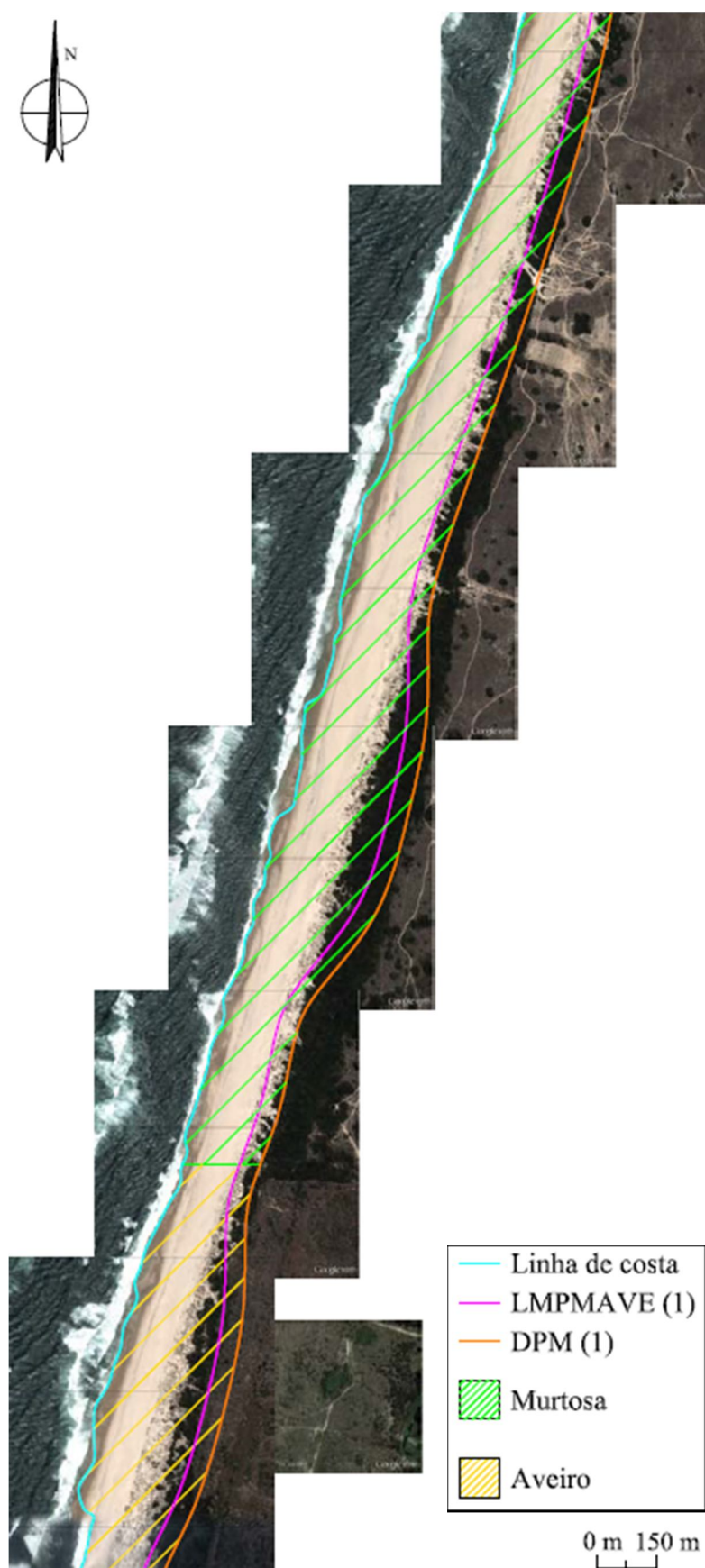


Figura A.II 6 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelhos de Murtosa e Aveiro

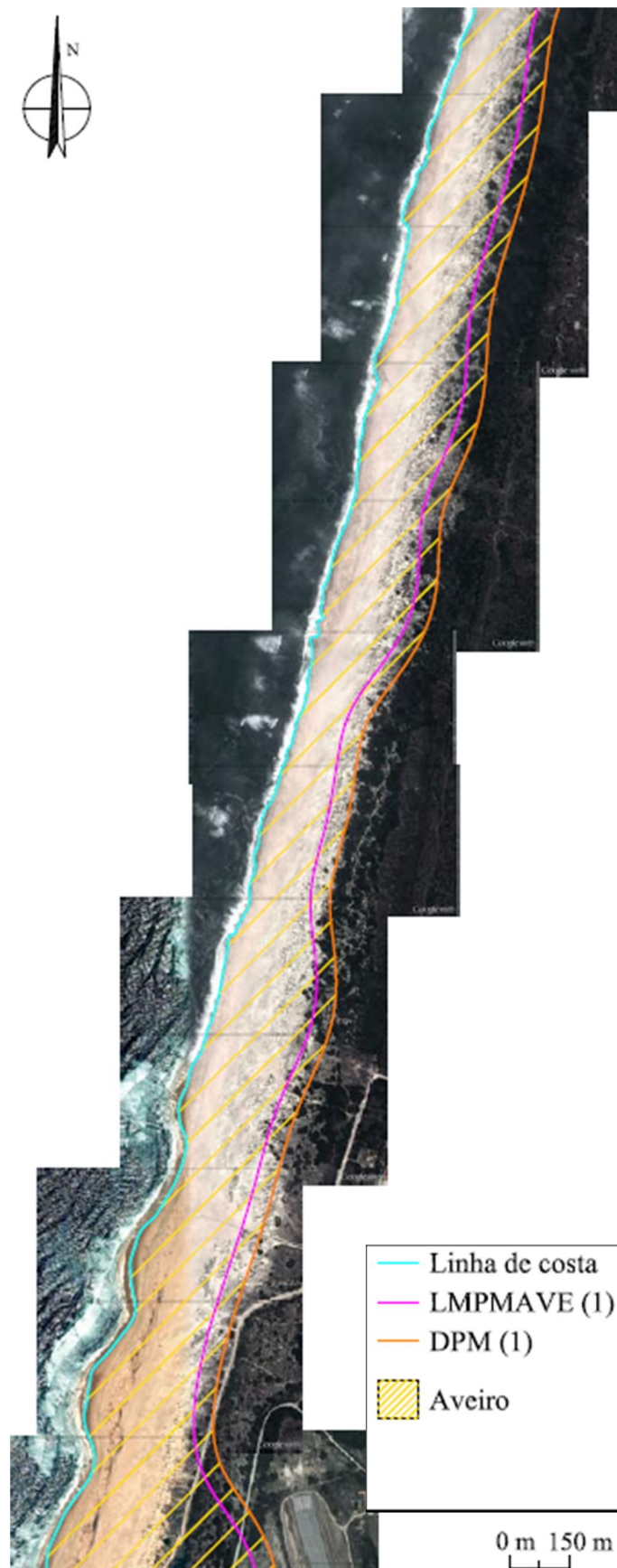


Figura A.II 7 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelho de Aveiro



Figura A.II 8 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelhos de Aveiro e Ílhavo

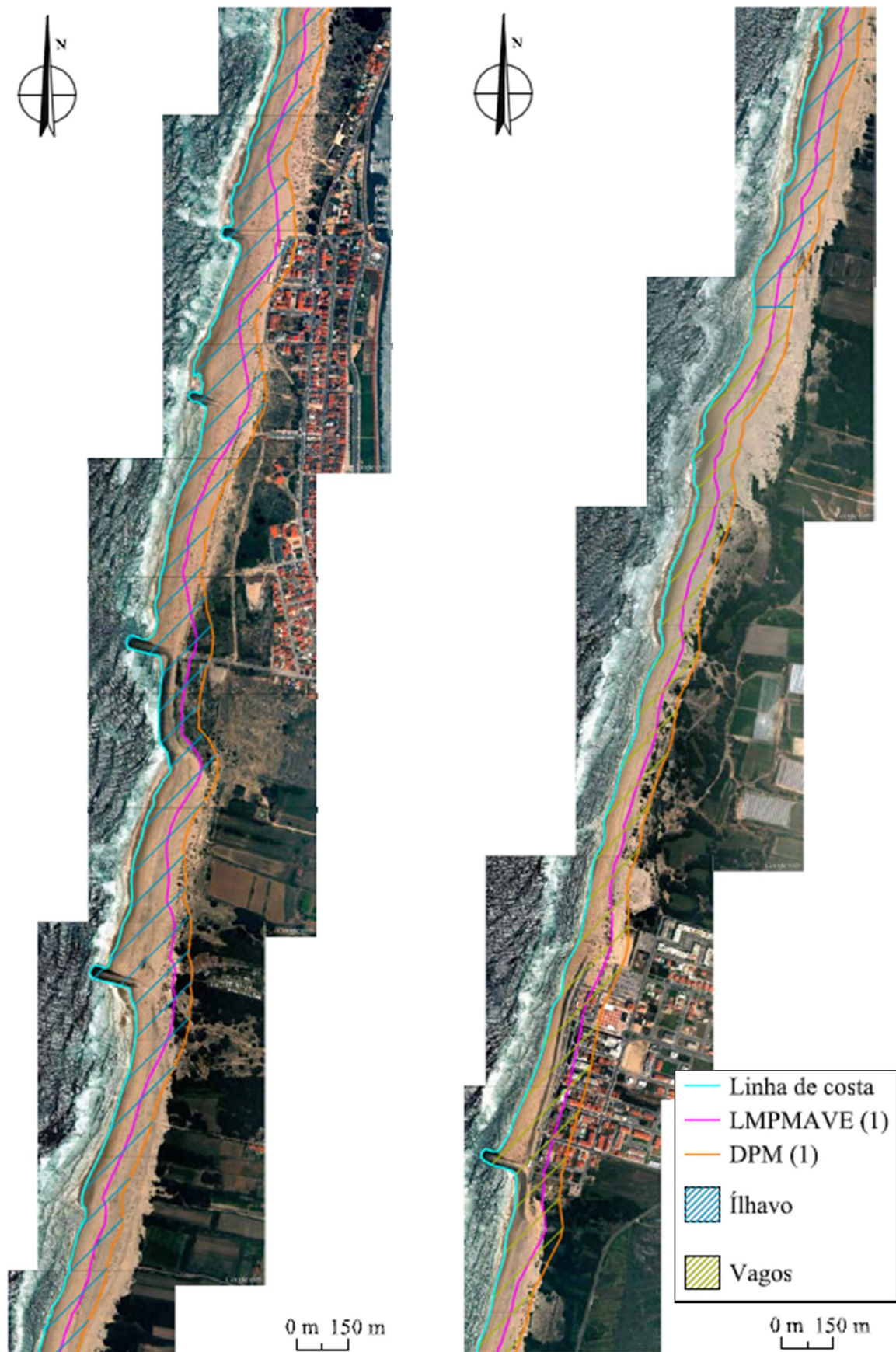


Figura A.II 9 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelhos de Ílhavo e Vagos



Figura A.II 10 – Representação da LMPMAVE (1) e do DPM (1), concelho de Vagos



Figura A.II 11 – Representação da LPMMAVE (2) e do DPM (2), concelhos de Espinho e Ovar

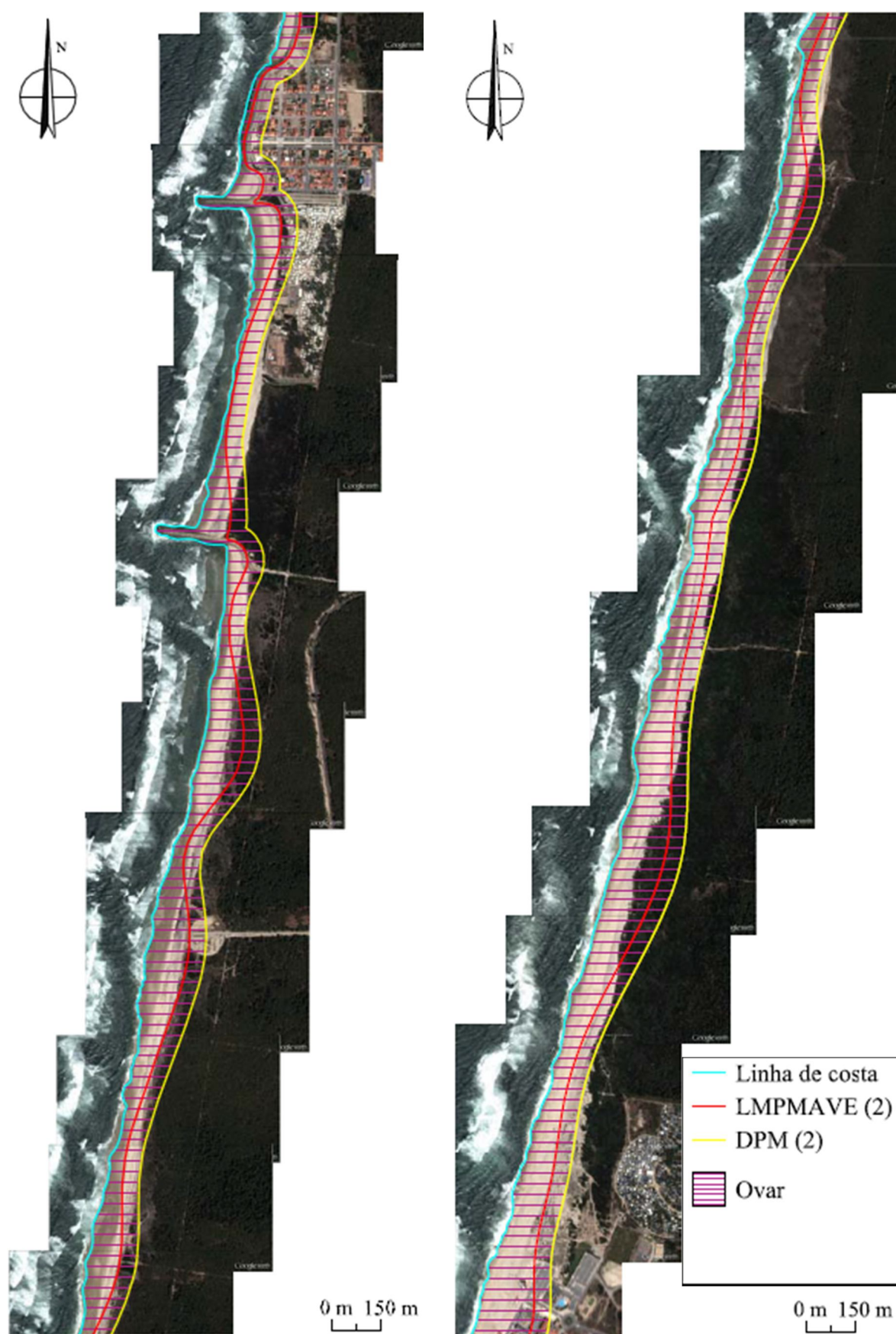


Figura A.II 12 – Representação da LPMMAVE (2) e do DPM (2), concelho de Ovar

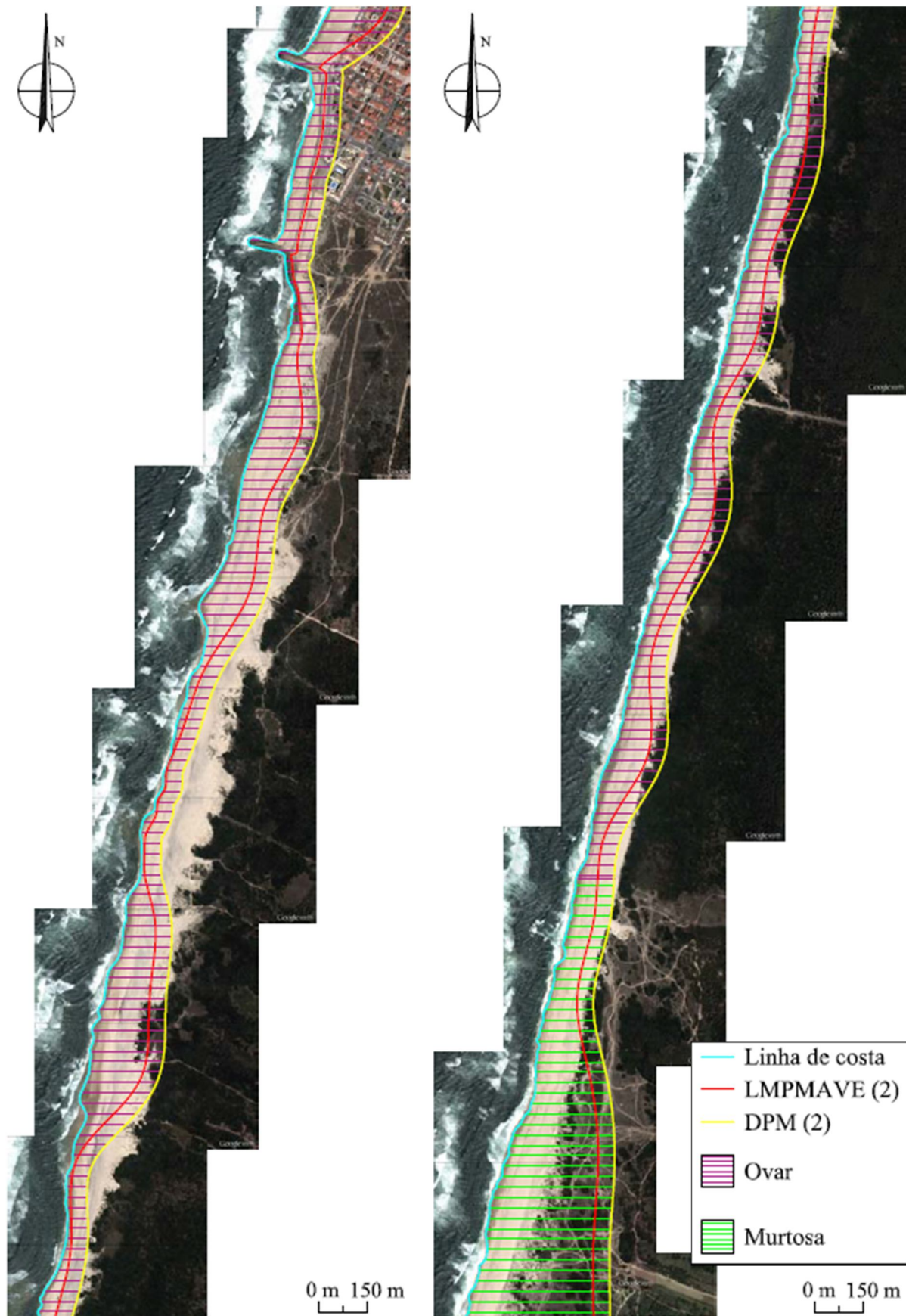


Figura A.II 13 – Representação da LPMMAVE (2) e do DPM (2), concelhos de Ovar e Murtosa

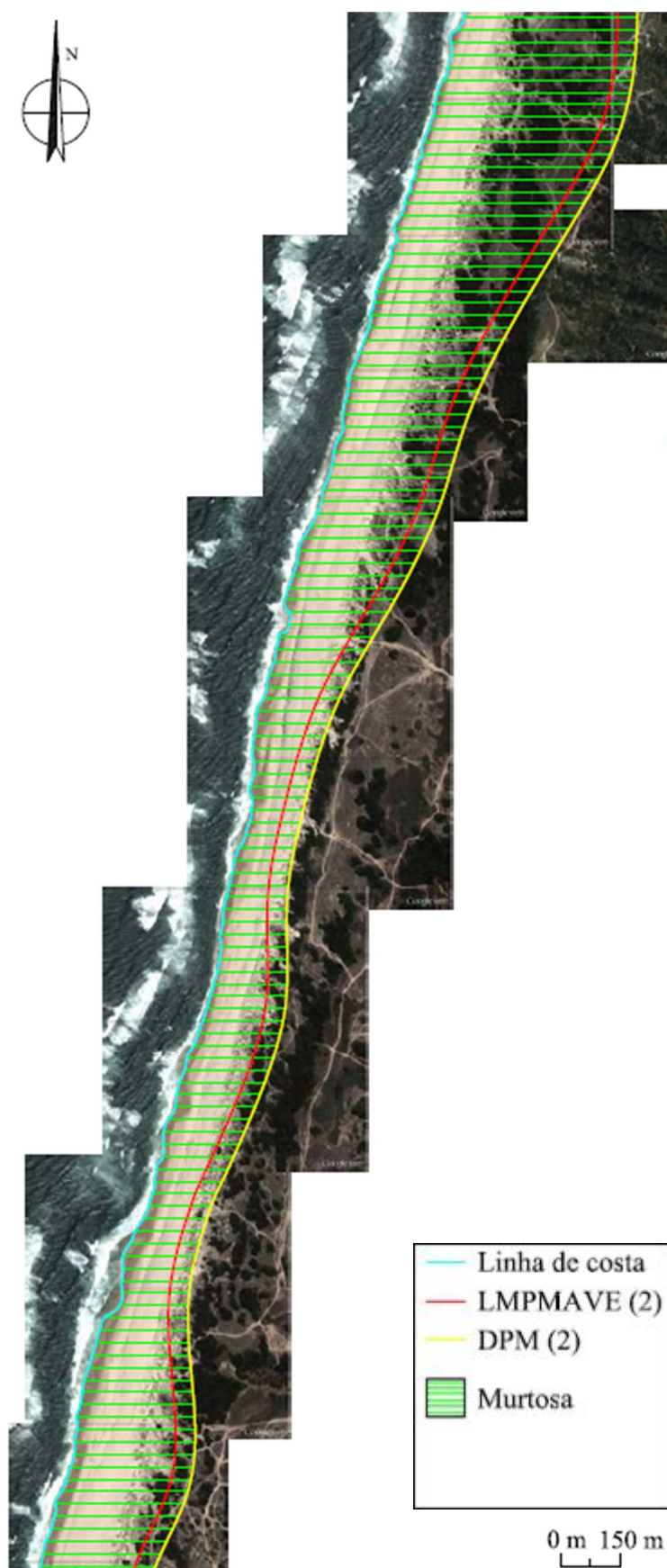


Figura A.II 14 – Representação da LPMMAVE (2) e do DPM (2), concelho de Murtosa (1)

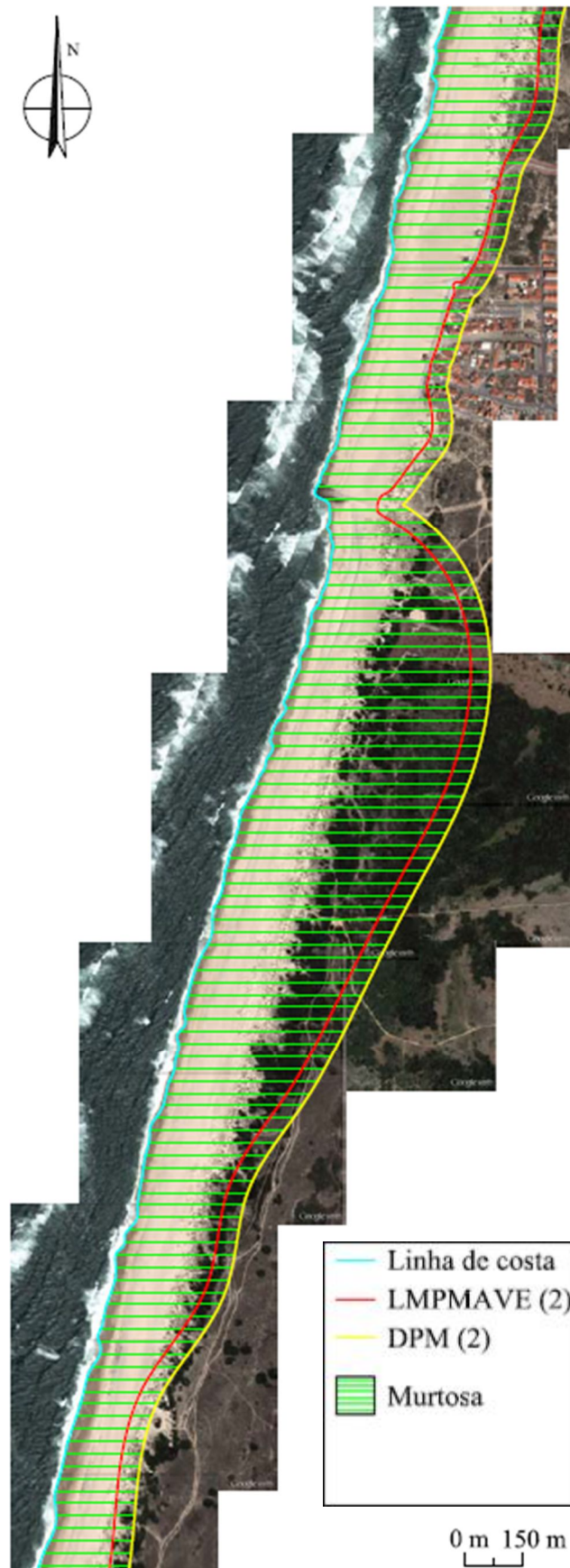


Figura A.II 15 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelho de Murtosa (2)

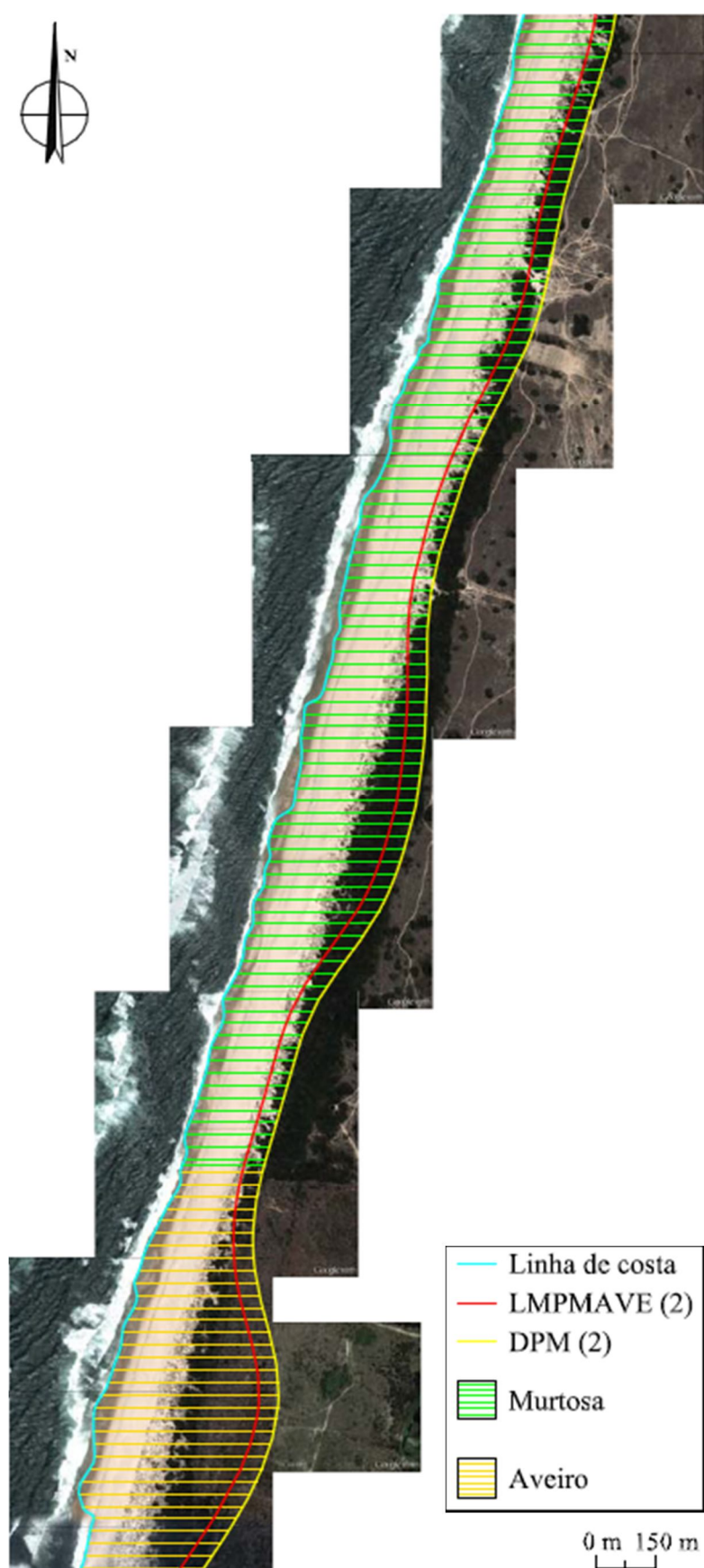


Figura A.II 16 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelhos de Murtosa e Aveiro

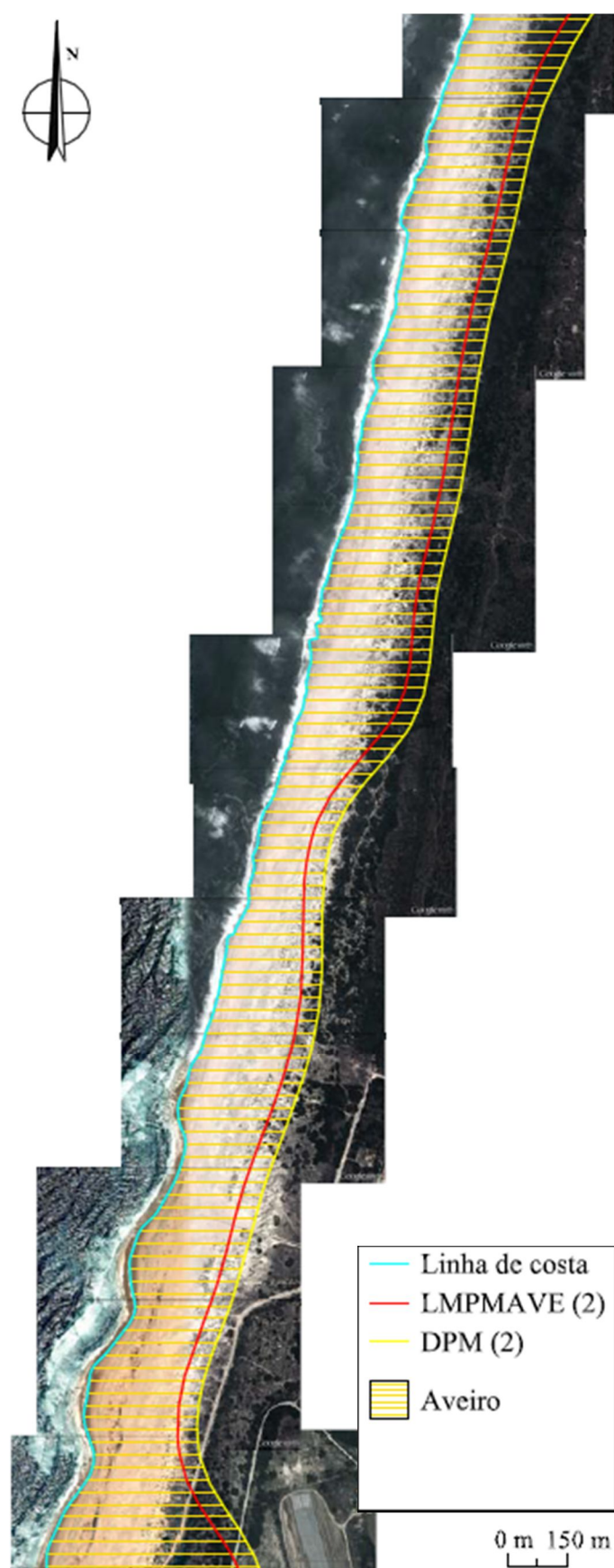


Figura A.II 17 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelho de Aveiro



Figura A.II 18 – Representação da LPMMAVE (2) e do DPM (2), concelhos de Aveiro e Ílhavo



Figura A.II 19 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelhos de Ílhavo e Vagos



Figura A.II 20 – Representação da LMPMAVE (2) e do DPM (2), concelho de Vagos